

BIO – Biometrické systémy

Dynamické biometrické vlastnosti

12. přednáška

- ❑ Nezaměřuje se na fyzické vlastnosti (jako otisk prstu), ale na způsob **chování**
- ❑ Analýza behaviorálních biometrických dat pro pokročilou autentizaci uživatele
- ❑ **Výhody:**
 - ❑ Možnost průběžné autentizace
 - ❑ Obtížné zfalšování
 - ❑ Nenápadnost
- ❑ **Nevýhody:**
 - ❑ Vyšší chybovost (stres, únava, alkohol, zranění)
 - ❑ Nutnost delšího tréninku systému



- ❑ Viz přednáška 8. Rozpoznávání podle písma a podpisu (Lukáš Semerád)
- ❑ On-line systém
- ❑ Snímané veličiny: Souřadnice **x** a **y** v **čase t**, **přítlak** (p), **azimut** a **náklon** pera
- ❑ Metody rozpoznávání podpisu: holistická, regionální, lokální
- ❑ Stroky

Dynamika stisku kláves (Keystroke Dynamics)

- ❑ **Rytmus psaní:** Každý uživatel má unikátní **kadenci**, **rychlost** a **plynulost** při psaní textu
- ❑ **Nevědomý proces:** Styl psaní je automatizovaný **návyk**, který je obtížné vědomě změnit nebo napodobit.
- ❑ Jedná se o proces analýzy **způsobu psaní** uživatele na klávesnici (i virtuální), jež je založená na identifikaci jeho přirozeného rytmu psaní (stisku kláves či displeje).
- ❑ Šablona psaného vzorku (dynamické vlastnosti) by měla být pro každého jedince jednoznačná, protože každý z nás má jiné neurofyzilogické faktory, které rytmus psaní ovlivňují.



Historie

- ❑ Během 2. světové války objevila armáda tzv. metodu "Fist of the Sender", kde telegrafisté byli schopni podle dynamiky vysílané Morseovy abecedy identifikovat telegrafistu na druhé straně.
- ❑ -> Díky tomu šlo sledovat pohyb oddílu



Historie

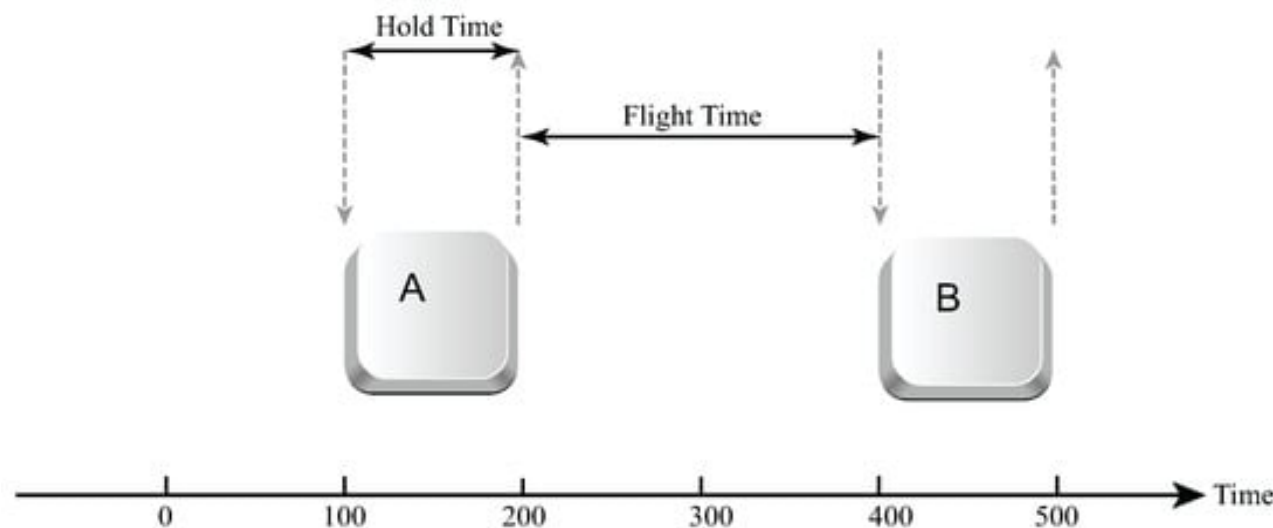
- ❑ 1979 – SRI International - první HW implementace
- ❑ 1984 – NIST sledává tuto technologii z 98% efektivní
- ❑ 1988 - Nová technologie odpovídající definici NISTu z roku 1987
- ❑ 2000 - Společnosti FSTC/IBG verifikují technologii dynamicky stisku kláves
- ❑ 2001 – Integrace této technologie do telefonů a domácí bezpečnosti

Základní princip fungování

- ❑ **Svalová paměť** - opakovaným psaním se vytváří silná nervová spojení. Mozek vysílá signály do prstů v přesně načasovaných intervalech.
- ❑ **Unikátní vzor** - kombinace délky prstů, flexibility kloubů a koordinace rukou je jedinečná pro každou osobu.
- ❑ **Konzistence** - absolutní rychlost se může měnit (únava, stres), ale relativní poměry zůstávají stabilní.
 - Stabilita **není absolutní** - silná únava, zdravotní stav, změna klávesnice nebo tělesná pozice mohou narušit i relativní vzory.

Klíčové metriky

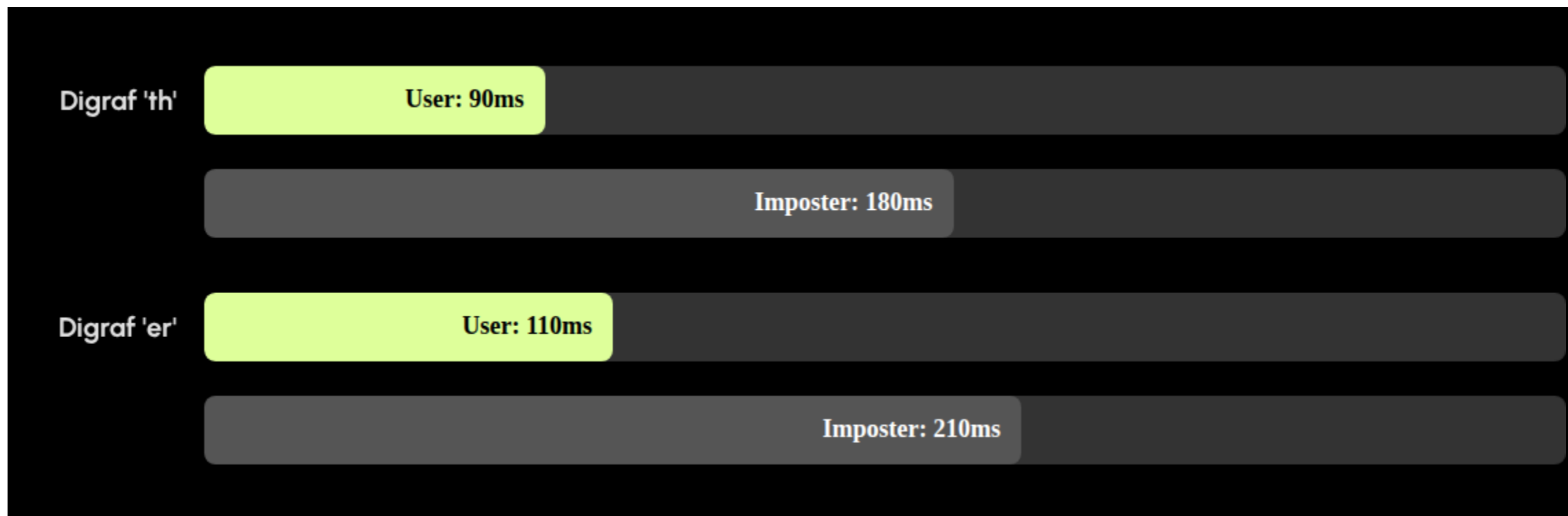
- ❑ **Dwell Time (doba stisku)**: časový interval mezi stisknutím a uvolněním klávesy
- ❑ **Flight Time (doba letu)**: čas mezi uvolněním jedné klávesy a stisknutím následující
- ❑ **Latence**: celkový čas mezi stisknutím první a druhé klávesy (key-down to key-down)



Pokročilé metriky

- ❑ Ukončení slov (mezera na konci)
- ❑ N-grafy (digrafy/trigrafy) - analýza přechodů mezi dvojicemi/trojicemi písmen, které jsou psány nejrychleji a nejstabilněji (th, er, in, ing, ...)
- ❑ Speciální klávesy - používání pravý/levý shift, caps lock a backspace
- ❑ Frekvence a rychlost oprav chyb
- ❑ Analýza rozptylu a směrodatné odchylky při psaní stejného textu v čase. Stabilita vzoru je klíčová.
- ❑ lexikální kontext - synonyma

Digrafy - oprávněný vs útočník



Graf ukazuje průměrnou latenci (Flight Time) u specifických dvojic písmen. Oprávněný uživatel má díky svalové paměti výrazně kratší a konzistentnější časy.

Klasifikační algoritmy

□ Statické metody

- Měření vzdálenosti mezi vzorkem a profilem uživatele
- Nejčastěji se používá Euklidovská nebo Manhattan vzdálenost - rychlé, ale méně přesné u komplexních vzorů

□ Strojové učení

- Využití SVM (Support Vector Machines) nebo neuronových sítí.
- Modely se dokáží učit nelineární vztahy a adaptovat na postupné změny v psaní uživatele

Autentizace

- ❑ Je naše psaní jedinečné pro to, kým jsme? - *Ne*, není to tak spolehlivé jako otisk prstu nebo snímek sítnice.
- ❑ Užitečný vektor pro bezpečnost a soukromí
- ❑ Průběžná autentizace vs přihlášení pouze jednou
 - Různé styly psaní, podezřelý text

Režimy autentizace

❑ Statická:

- Ověření probíhá pouze jednou při přihlášení (zadání hesla)
- Robustnější než samotné heslo
- Analyzuje je pouze krátký a fixní text

❑ Kontinuální:

- Průběžné monitorování uživatele (psaní emailů, dokumentů)
- Pokud se skóre shody sníží pod práh (u PC někdo jiný), systém stanici uzamkne

Zamyšlení ...

- Muži vs ženy
- Praváci vs leváci
- Náboženství
- Rozpoznání, že je někdo rodilý mluvčí
- Píše člověk stejně na odlišných klávesnicích?
- Píše člověk stejně před a po kafi?

Probíhající dlouhodobý výzkum

- ❑ Analýza textu pro rozpoznávání časných a nenápadných neurodegenerativních a stárnoucí efektů

Sektory využití

- ❑ Bankovní a finanční systémy (Detekce podvodů)
- ❑ Online vzdělávací platformy (E-Learning)
- ❑ Podniková bezpečnost a IAM (Identity Access Management)
- ❑ Herní průmysl (Anti-Cheat systémy)
- ❑ Specifický software a nástroje

Sektory využití

❑ Bankovní a finanční systémy (Detekce podvodů)

- Princip: Systém se naučí, jak uživatel zadává své přihlašovací údaje. Pokud se útočník pokusí přihlásit s ukradeným heslem (i správným), systém pozná, že rytmus psaní neodpovídá majiteli účtu, a zablokuje transakci nebo vyžádá další ověření.
- BehavioSec (nyní součást LexisNexis): Jeden z lídrů trhu, jehož technologii využívají velké světové banky pro kontinuální autentizaci.
- Feedzai: Platforma pro prevenci finanční kriminality, která kombinuje biometrii chování (včetně psaní) s AI.

Sektory využití

□ Online vzdělávací platformy (E-Learning)

- Systémy pro online výuku a certifikaci potřebují zajistit, že student, který skládá zkoušku, je ten samý, který se do kurzu zapsal.
- Coursera: Tato známá platforma v minulosti implementovala technologii (např. od společnosti KeyTrac), která ověřovala identitu studentů při odevzdávání úkolů na základě jejich "podpisu" psaní. Uživatel musel přepsat krátkou větu, aby se ověřil jeho biometrický profil.

Sektory využití

- **Podniková bezpečnost a IAM (Identity Access Management)**
 - Firmy používají tuto technologii pro zabezpečení přístupu k citlivým datům a pro kontinuální autentizaci.
 - Rozdíl oproti heslu: Heslo ověří uživatele jen na začátku. Keystroke dynamics může běžet na pozadí celou dobu. Pokud si zaměstnanec odskočí od počítače a k odemčenému stroji si sedne někdo jiný, systém zaznamená změnu v rytmu psaní a může počítač uzamknout.
 - TypingDNA, Okta / Ping Identity

Sektory využití

- **Herní průmysl (Anti-Cheat systémy)**
 - Online hry využívají analýzu vstupu z klávesnice k odhalování podvodníků a botů.
 - Lidské psaní a reakce mají určité nepravidelnosti. Pokud systém detekuje nelidsky přesné časování nebo repetitivní strojové vzorce stisků kláves, může identifikovat, že hraje "bot" (automatizovaný skript) místo člověka.

Sektory využití

❑ Specifický software a nástroje

- Existují i open-source knihovny a komerční SDK, které vývojáři integrují do vlastních aplikací.
- TypingDNA Verify 2FA: Umožňuje nahradit SMS kódy tím, že uživatel prostě napíše heslo a systém ověří jak heslo, tak identitu podle stylu psaní.
- KeyTrac: Německá firma specializující se čistě na tuto biometrii, často využívaná v akademickém sektoru a online testování.

Výhody ✓

- ❑ **Nízká cena:** žádný speciální HW
- ❑ **Transparentnost:** uživatel není rušen, autentizace probíhá a pozadí
- ❑ **Bezpečnost:** dynamika nelze ukrást nebo zkopírovat
- ❑ **Neinvazivní**
- ❑ **Akceptovatelné uživateli**

Nevýhody ✗

- ❑ **Vlivy prostředí:** změna klávesnice
- ❑ **Zdravotní stav:** únava nebo zranění zvyšují chybovost (FRR)
- ❑ **Nutný trénink:** systém potřebuje dostatek dat pro vytvoření spolehlivého profilu

- ❑ Easy to collect and easy to implement
- ❑ SW musí být na klientovi, ale je jednoduché snímat key-down key-up signály skrze web prohlížeč s javascript a jQuery

Vyzkoušej ...



Short phrase demo <https://www.typingdna.com/demo-sametext.html>

Analýza chůze a pohybu celého těla (Gait Analysis)

- ❑ Účelem je rozpoznat osobu na základě chůze
- ❑ **Biometrie chování:** Identifikace osoby na základně unikátního stylu chůze, který je dán fyziologií (délka nohou) i návyky
- ❑ **Identifikace na dálku:** Jedna z mála metod, která funguje i v nízkém rozlišení a na velkou vzdálenost (CCTV)
- ❑ **Cyklický pohyb:** Analyzuje se periodičita, délka kroku, rytmus a pohyb paží

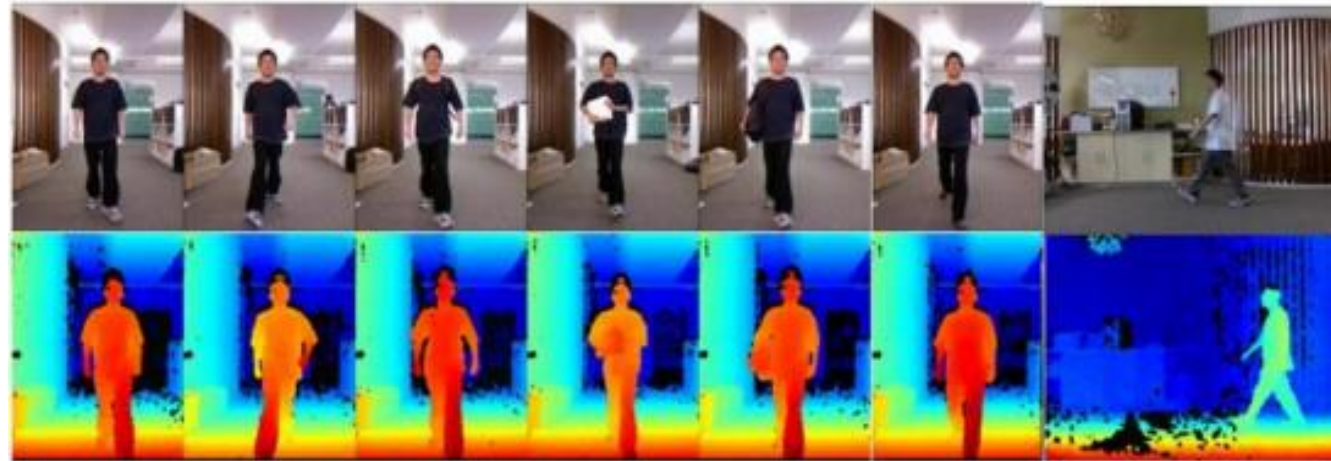
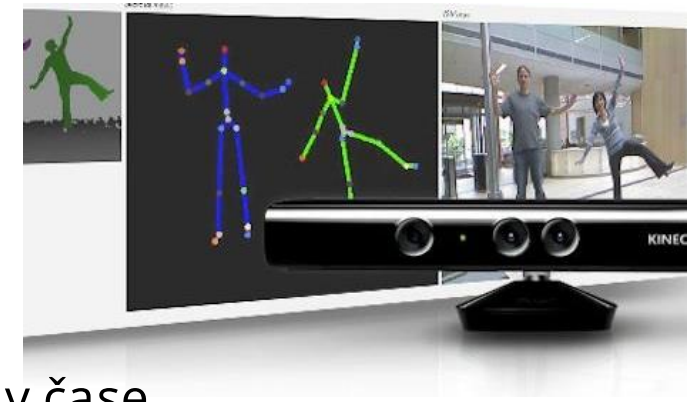


Figure 2 : Example images from in-house captured depth gait database (DGD).

Hlavní přístupy

❑ Machine Vision 📹

- Využívá kamerové záznamy
- Algoritmy extrahují siluetu postavy z pozadí a analyzují její změny v čase
- Ideální pro sledovací systémy a zabezpečení veřejných prostor



❑ Wearable Sensors 📱

- Využívá akcelerometry a gyroskopy v nositelné elektronice
- Měří zrychlení a rotaci v osách X, Y, Z
- Ideální pro kontinuální autentizaci uživatele mobilu

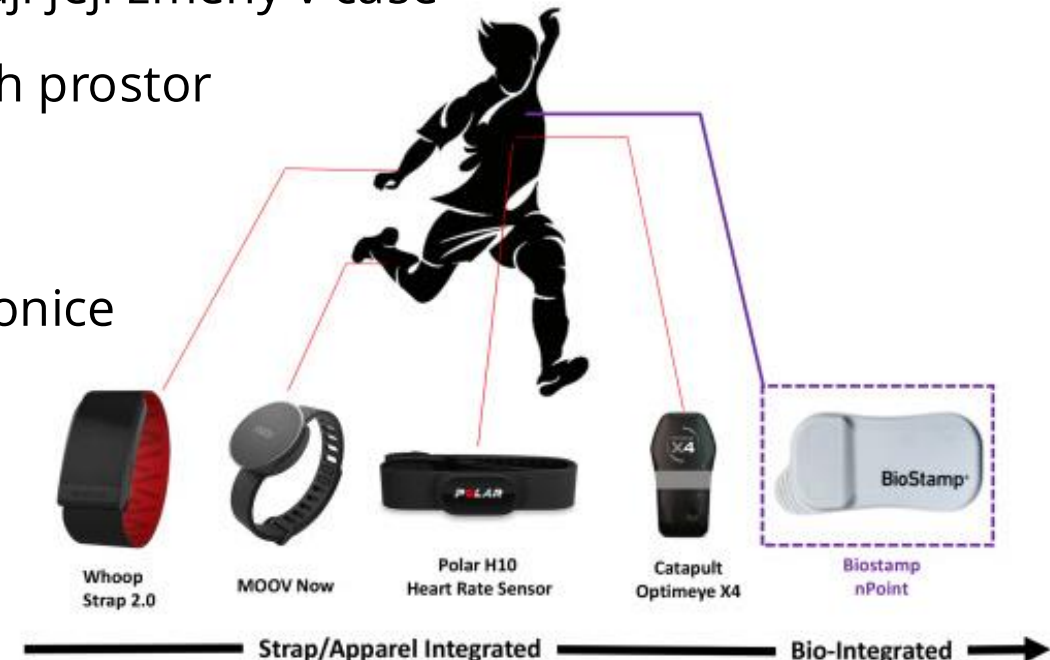
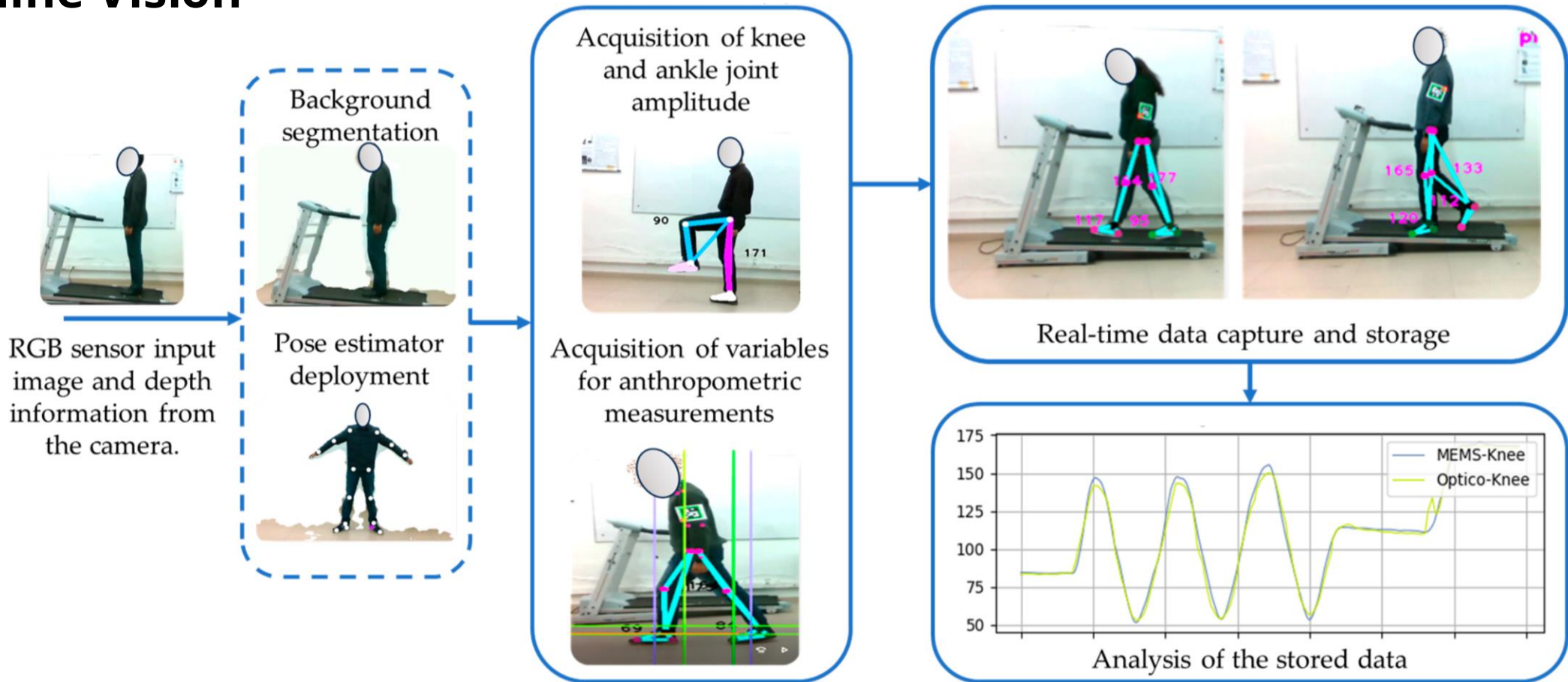


Image credit: Sveta Che

Current Opinion in Biomedical Engineering

Machine Vision



Model-Based vs. Model-Free

- ❑ **Model-Based:** Snaží se rekonstruovat kostru (skeleton) a měří úhly v kloubech. Je přesnější, ale výpočetně velmi náročný a vyžaduje vysoké rozlišení.
- ❑ **Model-Free (Holistický):** Pracuje s celkovým tvarem (siluetou) bez znalosti anatomie. Je rychlejší a funguje i na méně kvalitním videu, ale je citlivější na změnu oblečení (kabát vs. tričko).

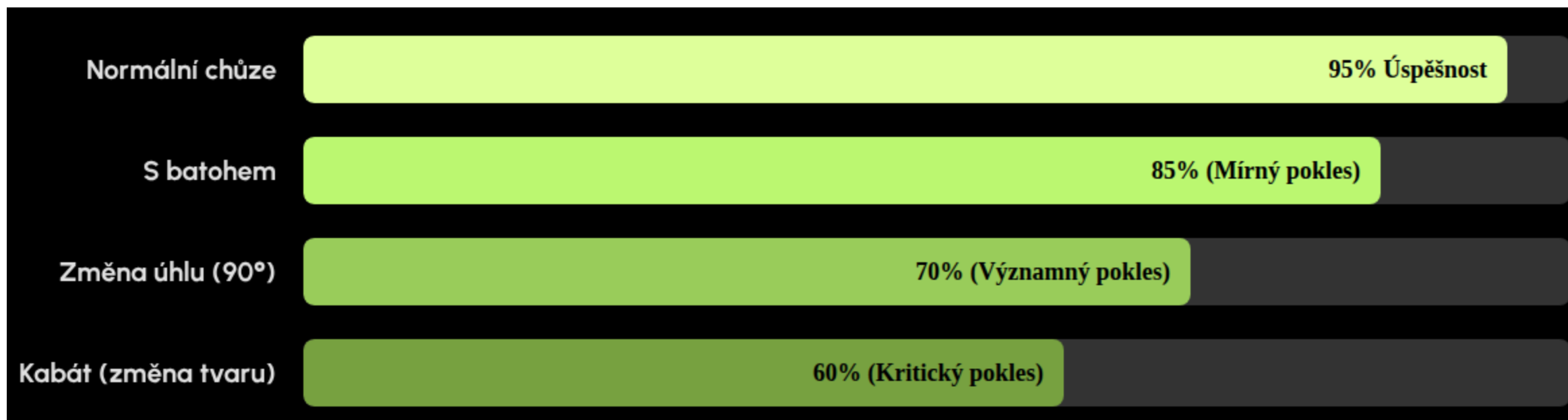


Faktory ovlivňující přesnost

- ❑ Obuv a povrch - chůze naboso vs v těžké obuvi mění kinematiku, stejně tak chůze po betonu vs písku mění stabilitu a sílu odrazu
- ❑ Zátěž - nošení batohu nebo těžké tašky v jedné ruce mění těžiště těla a omezuje přirozený kmit rukou
- ❑ Zdravotní stav - únava, zranění nohy nebo vliv alkoholu dočasně, ale výrazně mění rytmus a symetrii chůze
- ❑ Oblečení, okolní prostředí a osvětlení, množství osob



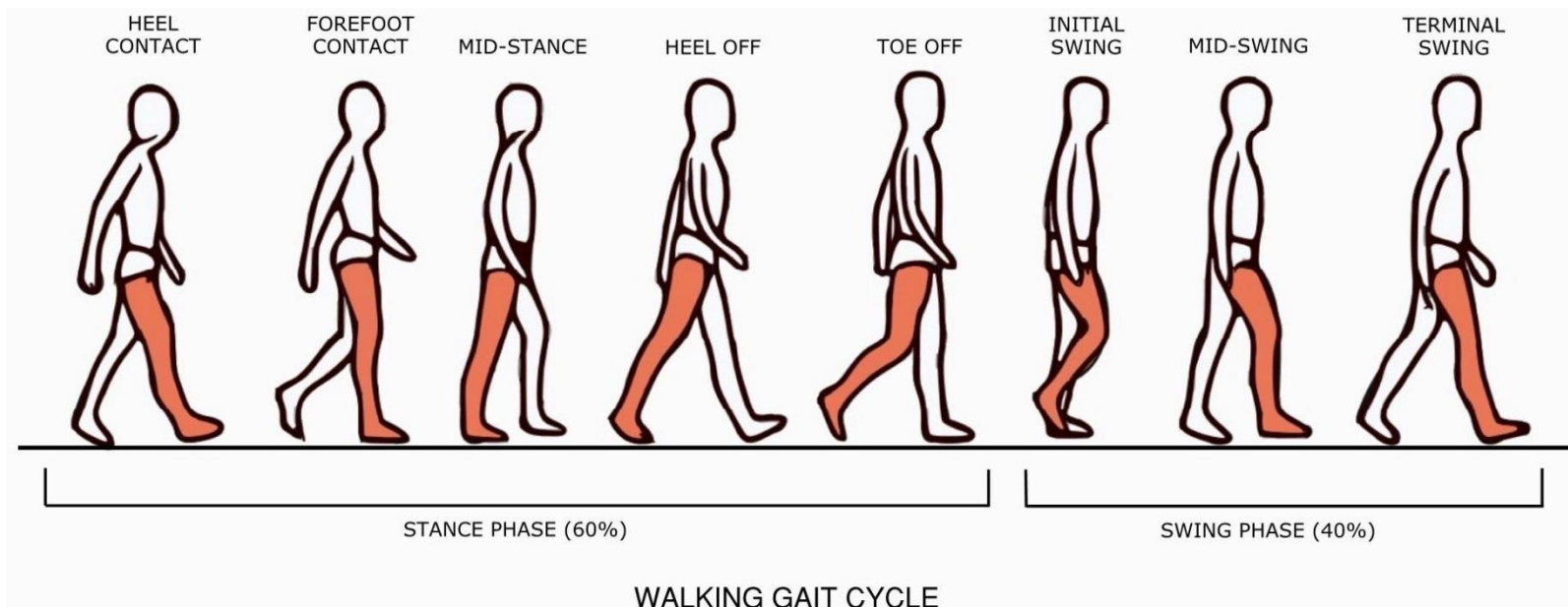
Faktory ovlivňující přesnost



Graf ilustruje typický pokles přesnosti (Rank-1 Accuracy) u systémů založených na siluetě. Změna oblečení (kabát) maskuje tvar těla více než nošení batohu.

Cyklus chůze

- ❑ **Stance Phase** (1. fáze stoje) - 62% cyklu
- ❑ **Swing Phase** (2. fáze švihu) - 38% cyklu
- ❑ **Celý cyklus chůze** je doba mezi jednotlivými kontakty stejné nohy



Stance Phase

☐ Počáteční kontakt

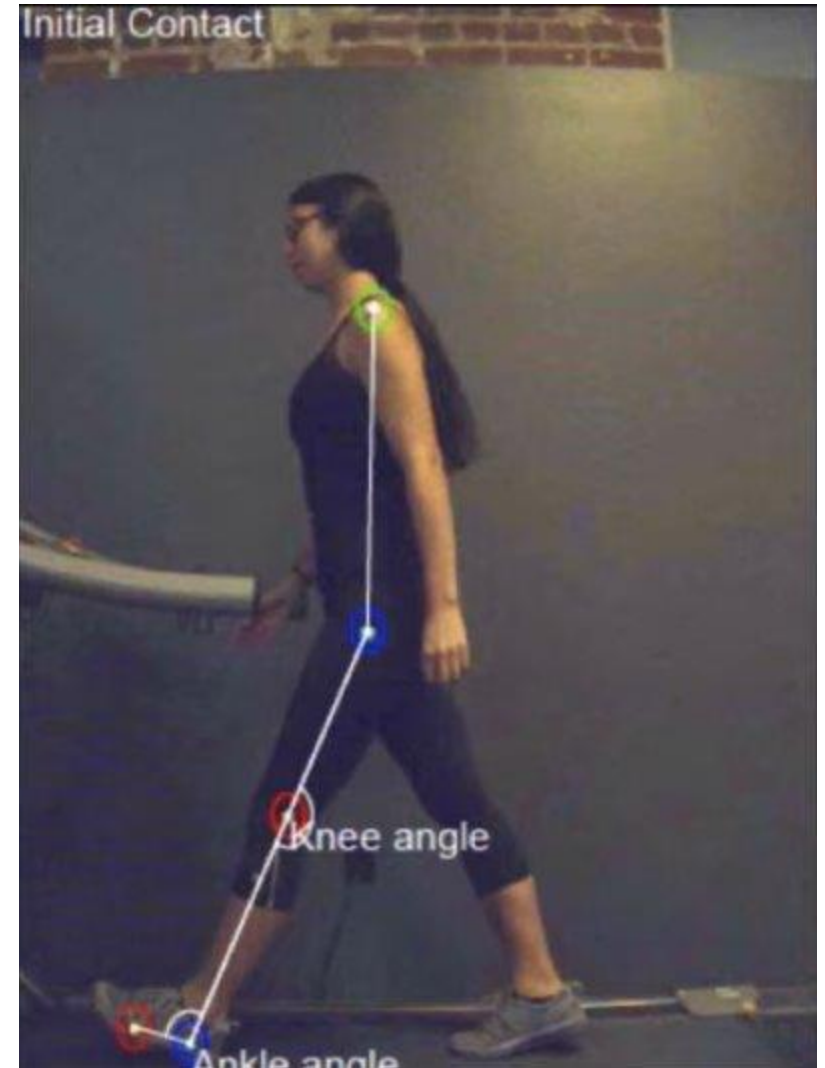
- Okamžik, kdy se chodidlo dotkne země (obvykle pata)

☐ Reakce na zatížení

☐ Střední postoj

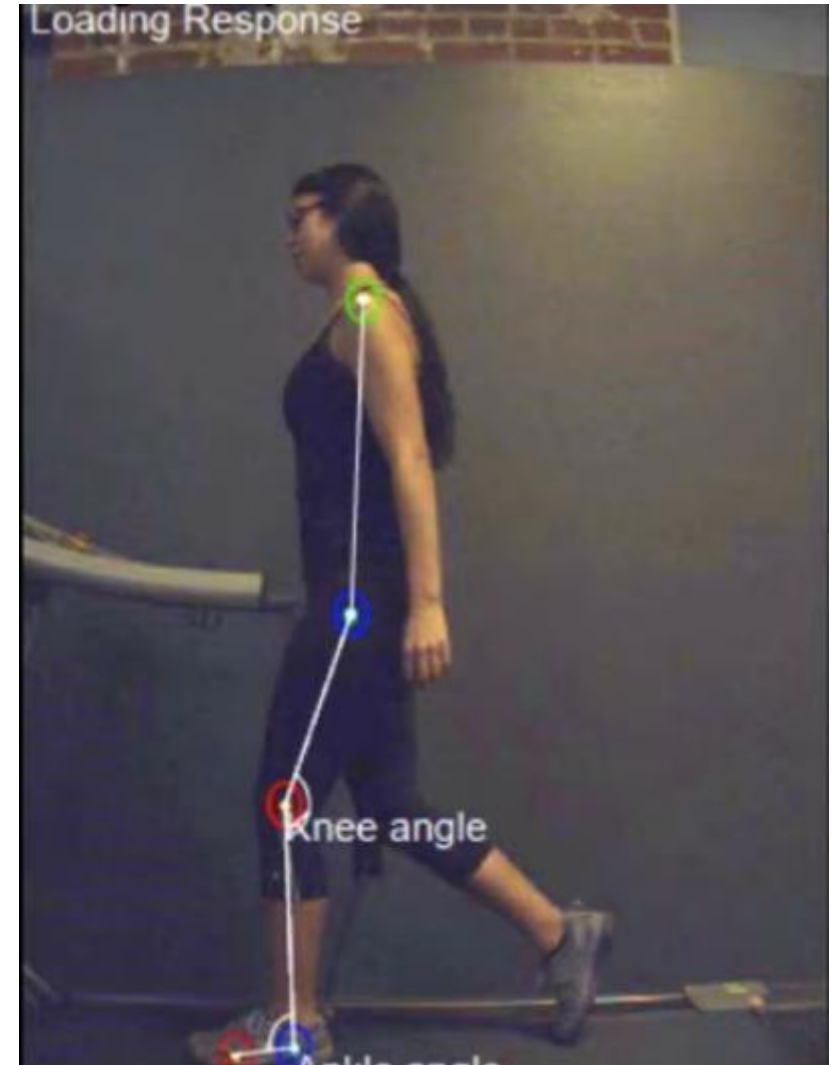
☐ Koncový postoj

☐ Před švihem



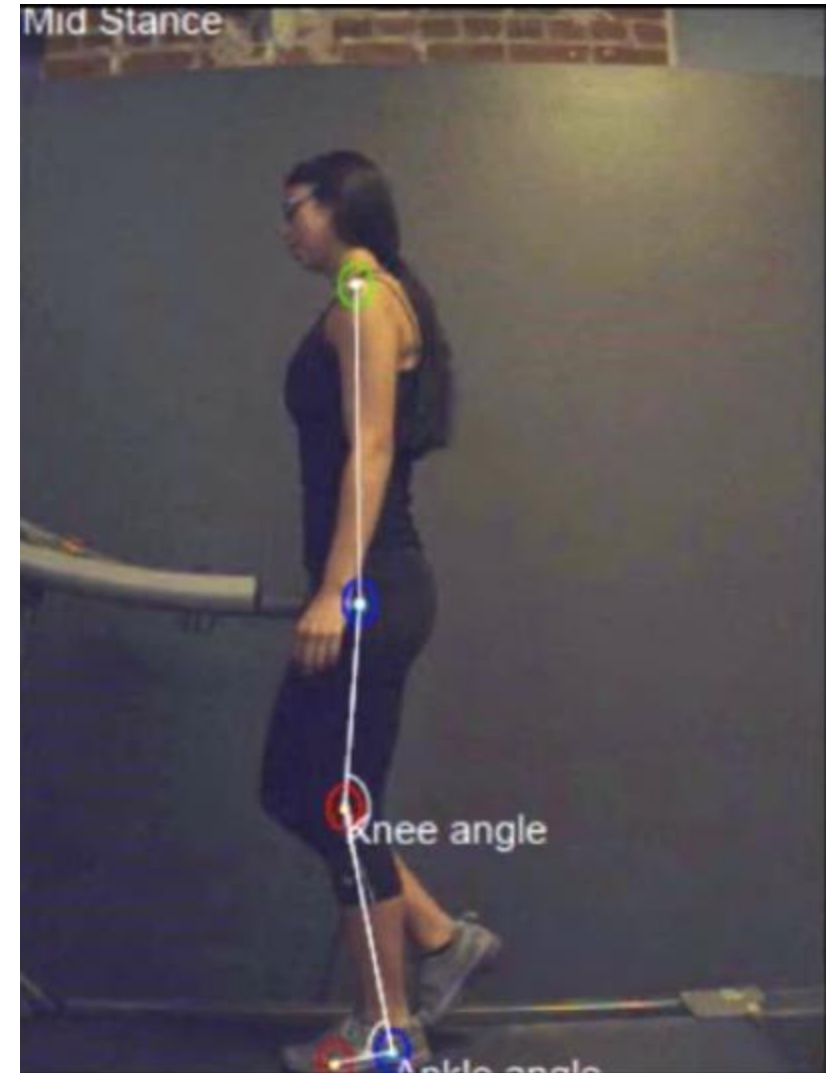
Stance Phase

- ❑ Počáteční kontakt
 - Okamžik, kdy se chodidlo dotkne země (obvykle pata)
- ❑ **Reakce na zatížení**
 - Váha se přenáší do končetiny
- ❑ Střední postoj
- ❑ Koncový postoj
- ❑ Před švihem



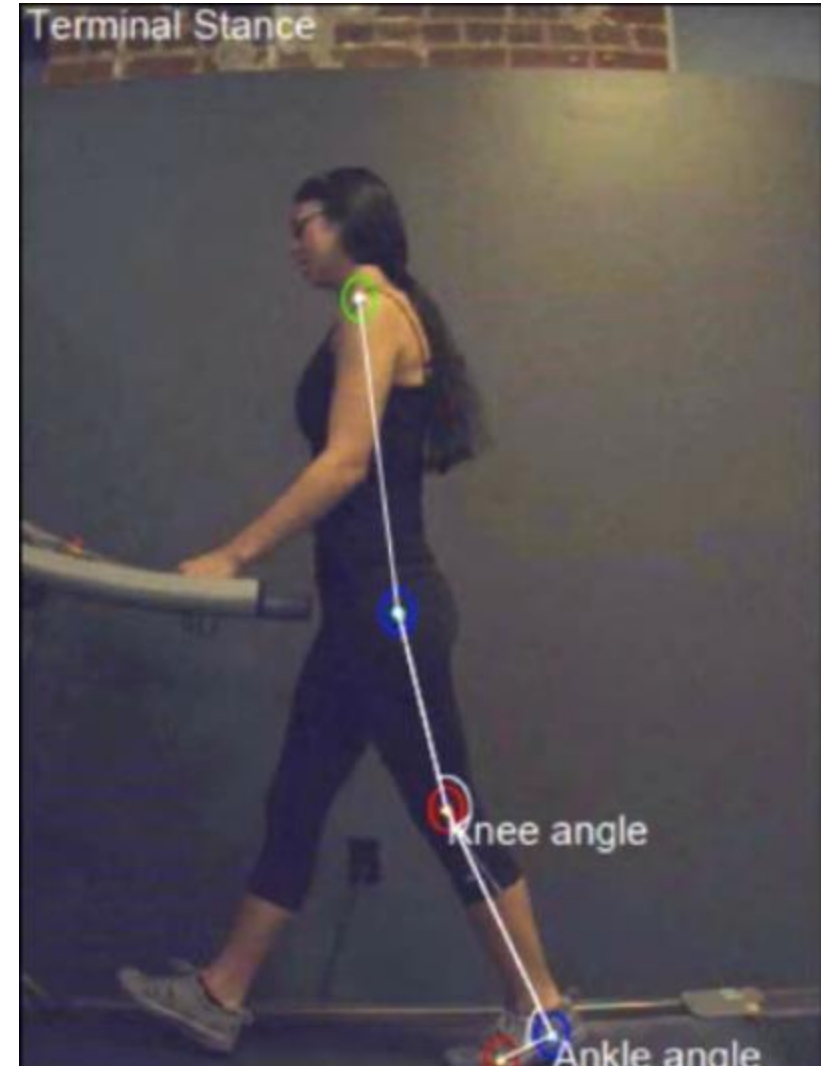
Stance Phase

- ❑ Počáteční kontakt
 - Okamžik, kdy se chodidlo dotkne země (obvykle pata)
- ❑ Reakce na zatížení
 - Váha se přenáší do končetiny
- ❑ **Střední postoj**
 - Tělo postupuje přímo přes jednu končetinu
- ❑ Koncový postoj
- ❑ Před švihem



Stance Phase

- ❑ Počáteční kontakt
 - Okamžik, kdy se chodidlo dotkne země (obvykle pata)
- ❑ Reakce na zatížení
 - Váha se přenáší do končetiny
- ❑ Střední postoj
 - Tělo postupuje přímo přes jednu končetinu
- ❑ **Koncový postoj**
 - Tělo pokračuje pohybem před končetinou a váha se přenáší na přední část chodidla
- ❑ Před švihem



Stance Phase

❑ Počáteční kontakt

- Okamžik, kdy se chodidlo dotkne země (obvykle pata)

❑ Reakce na zatížení

- Váha se přenáší do končetiny

❑ Střední postoj

- Tělo postupuje přímo přes jednu končetinu

❑ Koncový postoj

- ❑ Tělo pokračuje pohybem před končetinou a váha se přenáší na přední část chodidla

❑ Před švihem

- Končetina se rychle odlehčí, protože váha se přesune na opačnou dolní končetinu



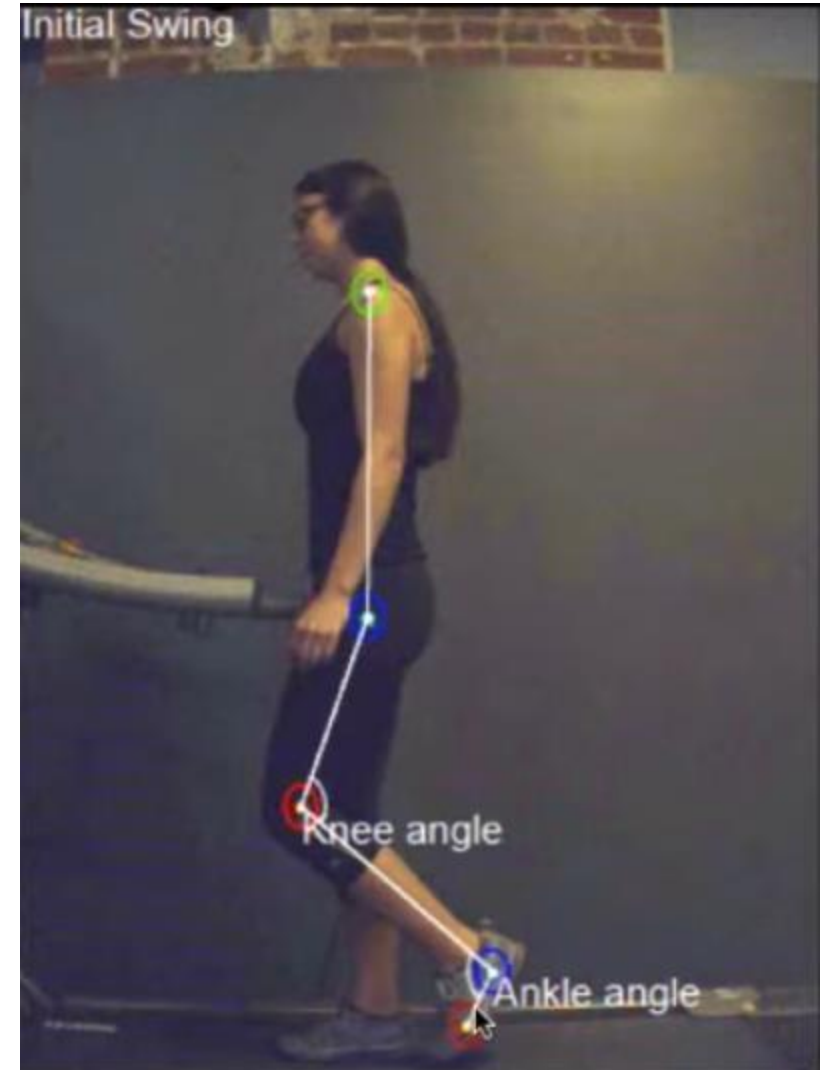
Swing Phase

❑ Počáteční švih

- Chodidlo se odlepí od podlahy a stehenní kost se začne pohybovat dopředu

❑ Střední švih

❑ Koncový švih



Swing Phase

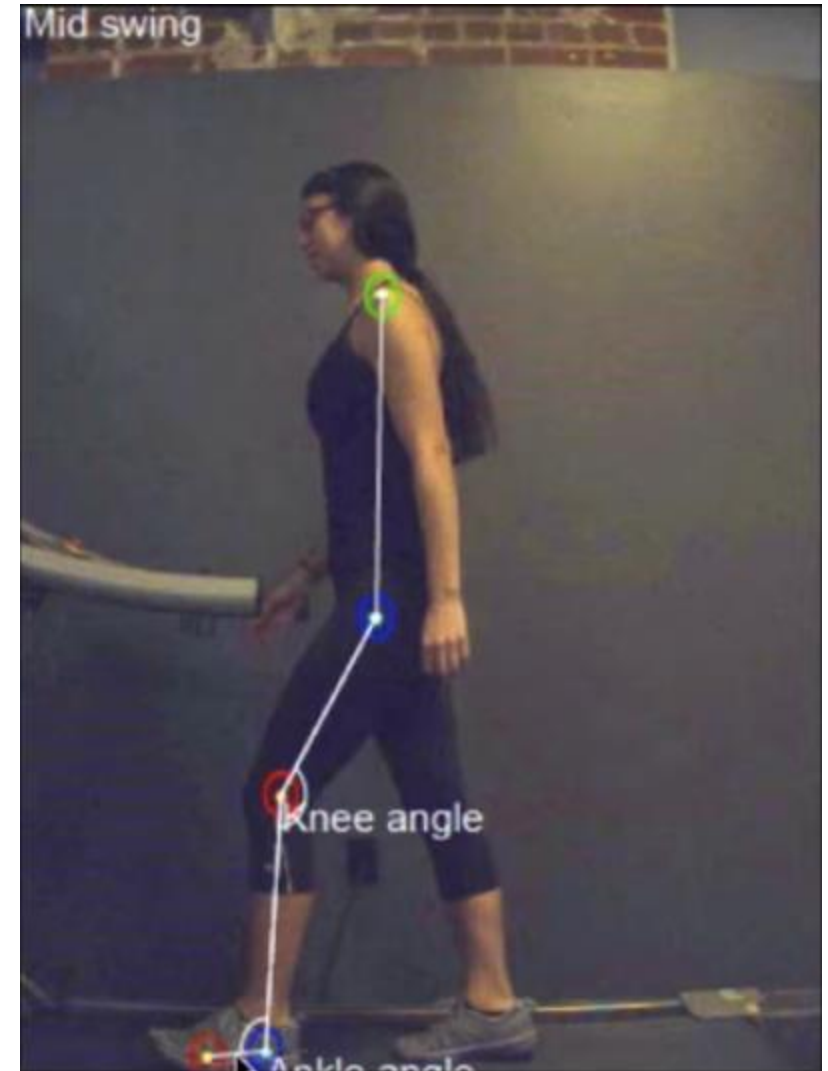
□ Počáteční švih

- Chodidlo se odlepí od podlahy a stehenní kost se začne pohybovat dopředu

□ Střední švih

- Koleno se začíná natahovat a chodidlo se dotýká země, zatímco stehenní kost pokračuje v pohybu vpřed

□ Koncový švih



Swing Phase

□ Počáteční švih

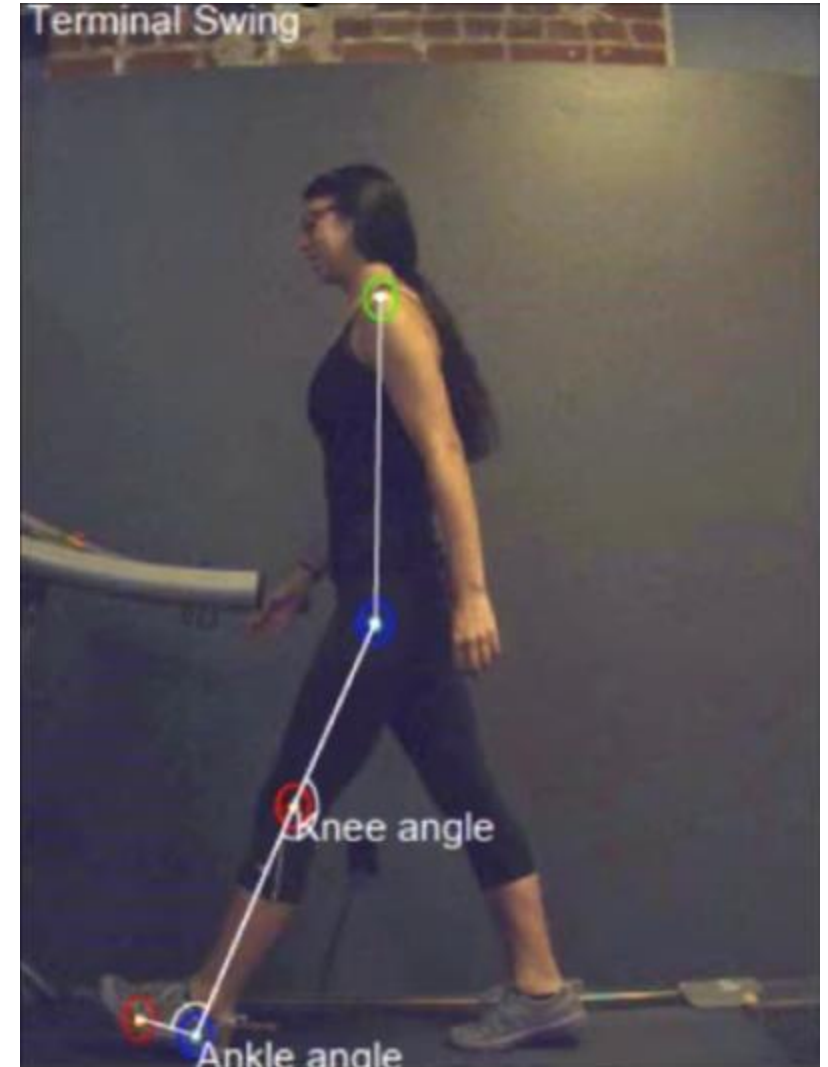
- Chodidlo se odlepí od podlahy a stehenní kost se začne pohybovat dopředu

□ Střední švih

- Koleno se začíná natahovat a chodidlo se dotýká země, zatímco stehenní kost pokračuje v pohybu vpřed

□ Koncový švih

- Koleno je plně natažené, když se dolní končetina připravuje na kontakt se zemí



Sledované veličiny chůze

- ❑ Doba cyklu - jeden cyklus (\varnothing 1.0-1.2 sekundy)
- ❑ Délka cyklu - vzdálenost od dotyku paty k dotyku paty stejné nohy (\varnothing 1.2-1.9m)
- ❑ Délka kroku - z jedné nohy na druhou nohu (\varnothing 0.6-0.8m)
- ❑ Šířka kroku - mezi chodidly (\varnothing 7.7-9.6cm)
- ❑ Kadence (rytmus) - muži 108 kroků/min, ženy 116 kroků/min
- ❑ Rychlost - vzdálenost/čas
- ❑ ... *GEI (Gait Energy Image) nebo kinematický model*

Reálné využití

- Lékařství (terapie)
- Kriminalistika



Výhody ✓

- ❑ **Non-kooperativní:** Subjekt nemusí o snímání vědět ani spolupracovat
- ❑ **Velká vzdálenost:** Funguje na desítky metrů, kde selhává rozpoznání obličeje
- ❑ **Těžké zfalšovat:** Změnit vědomě styl chůze na delší dobu je kognitivně náročné
- ❑ **Neinvazivní**

Nevýhody ✗

- ❑ **Ovlivňující faktory:** Oblečení, obuv a nesené předměty silně ovlivňují výsledek
- ❑ **Úhel pohledu:** Systém trénovaný na boční pohled selhává při čelním pohledu (nutnost 3D modelování)

Mission impossible



Dynamika pohybu rtů (Lip Motion Biometrics)

- ❑ Využití vizuální řeči pro autentizaci a detekci živosti
- ❑ **Vizuální biometrie:** Analýza dynamických změn tvaru úst a rtů během mluvení.
- ❑ **Audio-Visual Fusion:** Často se používá v kombinaci s hlasovou biometrií pro zvýšení přesnosti (řeší problém hluku).
- ❑ **Unikátnost:** Je dána fyziologií svalů (musculus orbicularis oris) a naučeným stylem vyslovování.



Biologický základ

- ❑ Fyziologie – tvar čelisti, uspořádání zubů a tloušťka rtů definují statické limity v rámci kterých se ústa mohou pohybovat
- ❑ Visémy – vizuální ekvivalent fonémů, např hlásky 'b' a 'p' vypadají na rtech téměř identicky (jsou to bilabiály)
- ❑ Dynamika – rychlost otevírání úst a asymetrie při mluvení jsou těžko napodobitelné

Metody extrakce

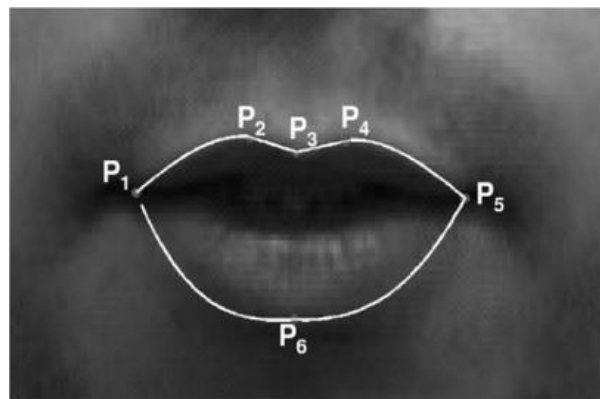
□ Geometrické příznaky

- Sledování klíčových bodů (landmarks) na kontuře rtů
- Měříme výšku (h) a šířku (w) otevření úst, plochu a obvod v čase
- Je to výpočetně nenáročné

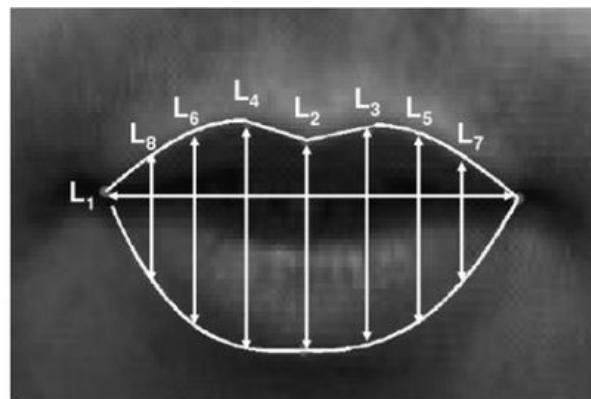
□ Obrazové příznaky

- Analýza pixelů v oblasti úst (Region of Interest)
- Využívá se Optical Flow (tok pixelů v čase) nebo DCT transformace pro zachycení textury kůže a vrásek

Metody extrakce



(a)



(b)



(c)

Detekce živosti

- ❑ **Obrana proti fotkám** - Statická fotka nemůže hýbat rty.
- ❑ **Challenge-Response** - Systém vyzve uživatele: "Přečtěte čísla 5-8-2". Systém pak ověřuje, zda pohyb rtů odpovídá fonetickému složení těchto čísel, čímž eliminuje předem nahraná videa (Replay Attack).

McGurk effect

- ❑ Psychovizuální jev: Ukazuje, jak moc vizuální vjem ovlivňuje to, co "slyšíme".
- ❑ **Experiment:** Pokud slyšíte slabiku "ba", ale vidíte rty vyslovovat "ga", mozek často vyhodnotí zvuk jako "da".
- ❑ Biometrický význam: Toto potvrzuje, že vizuální a akustická složka jsou v mozku (i v autentizačních systémech) neoddělitelně propojeny.

Výhody ✓

- ❑ **Odolnost proti hluku:** funguje i v hlučném prostředí, kamera neslyší
- ❑ **Diskrétnost:** uživatel může heslo pouze naznačit rty bez vydání zvuku
- ❑ **Anti-spoofing:** (zatím) je obtížné vytvořit masku nebo deepfake s perfektní synchronizací rtů s náhodným textem

Nevýhody ✗

- ❑ **Osvětlení:** Stíny pod nosem nebo příliš tmavé prostředí znemožňují přesnou detekci kontur
- ❑ **Úhel:** Natočení hlavy deformuje geometrii rtů
- ❑ **Vousy:** Hustý knír nebo plnovous může zcela zakrýt horní ret a koutky úst
- ❑ **Make-up:** Výrazná rtěnka může pomoci (kontrast), ale lesk může házet odlesky matoucí senzory.

Hlasová biometrie

- ❑ Autentizace založená na fyziologických a behaviorálních charakteristikách lidského hlasu
- ❑ **Unikátnost:** Kombinuje tvar hlasového ústrojí (Hardware) a naučený způsob mluvy (Software)



Složky hlasu

☐ Fyziologická

- Dáno anatomií, velikost plic, délka a napětí hlasivek, tvar hrtanu, nosní dutiny a postavení zubů

☐ Behaviorální

- Dané návyky a sociokulturním prostředím, rychlost mluvy, intonace, přízvuk, výslovnost specifických hlásek a používání pauz

☐ Kombinace

- Hlasová biometrie je hybridní metoda
- I když je subjekt nachlazení (změna fyziologie), rytmus mluvy (chování) zůstává podobný

Režimy autentizace

❑ Text-Dependent

- Uživatel musí říct přesně danou frázi (heslo)
- Systém porovnává hlasový model přímo s nahrávkou téže fráze
- Vyšší přesnost, ale vyžaduje spolupráci - "Můj hlas je mé heslo"

❑ Text-Independent

- Uživatel může říkat cokoliv (volná řeč)
- Systém hledá obecné charakteristiky hlasu bez ohledu na obsah
- Ideální pro pasivní autentizaci v call centrech

Hrozby

❑ Replay Attack

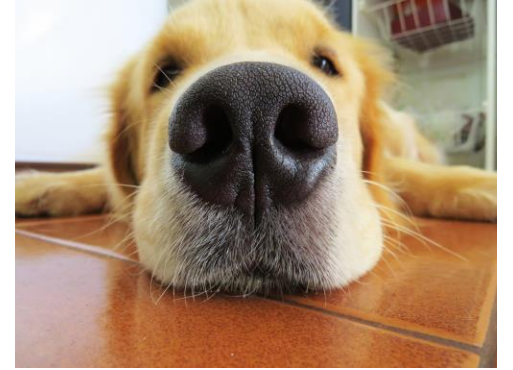
- Nejjednodušší útok, útočník nahraje hlas oběti a přehraje jej autentizačnímu systému
- **Obrana:** Detekce živosti, hledá se "otisk" reproduktoru a mikrofonu (zkreslení na vysokých frekvencích), které živý hlas nemá
- **Challenge-Response:** Systém vyzve uživatele k vyslovení náhodné fráze, kterou útočník nemá nahranou

❑ Syntéza Hlasu

- Text-to-Speech (TTS) / Voice Conversion
- Moderní AI (např. VALL-E, ElevenLabs) dokáže naklonovat hlas z pouhých 3 sekund záznamu.
- **Anti-Spoofing:** Detekce syntetické řeči hledá mikroskopické artefakty generativních modelů (chyby ve fázi signálu, nepřirozená plynulost dechu), které lidské ucho neslyší

Chemické složení pachu

- ❑ Analýza unikátního chemického podpisu lidského těla
- ❑ Inovativní a stále se rozvíjející oblast inspirovaná čichem psů
- ❑ **Unikátnost pachu**
 - ❑ Každý člověk má jedinečný tělesný pach, který je kombinací genetiky, hormonálního profilu, stravy, zdraví a mikrobiálního složení kůže
- ❑ **Chemické složení**
 - ❑ Pach je tvořen směsí těkavých organických látek (VOC – Volatile Organic Compounds), které se odpařují z povrchu těla
- ❑ **Stabilita**
 - ❑ I když může být tělesný pach ovlivněn faktory jako strava či hygiena, základní chemický profil zůstává relativně stabilní



Pachy

❑ Primární pach:

- ❑ Geneticky daný (stabilní), určený imunitním systémem (MHC/HLA)

❑ Sekundární pach:

- ❑ Ovlivněný stravou (česnek, koření) a prostředím (kuřák), proměnlivý

❑ Terciární pach:

- ❑ Exogenní látky, mýdla, parfémy, prací prášky, způsobuje šum při detekci

Biologický zdroj

❑ Ekrinní žlázy

- Nachází se po celém těle
- Produkují hlavně vodu a sůl (termoregulace)
- Jsou prakticky bez zápachu

❑ Apokrinní žlázy

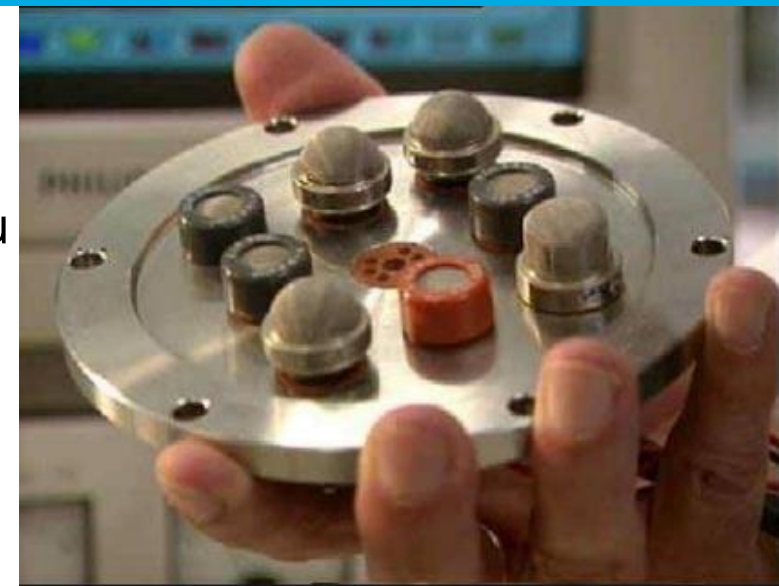
- V podpaží a tříslech
- Produkují mléčný sekret bohatý na bílkoviny a lipidy - klíčové pro biometrii

❑ Mikrobiom

- Bakterie na kůži (např. *Corynebacterium*) rozkládají apokrinní sekret
- Teprve tento metabolický proces vytváří specifický odér

Biometrický senzor: E-Nose

- ❑ **Senzorové pole** - Místo rozboru každé molekuly používá pole senzorů (MOS - Metal Oxide Semiconductor). Každý senzor reaguje na jinou skupinu látek.
- ❑ **Pachový otisk** - Výsledkem není seznam látek, ale "obrazec" (pattern) odezvy senzorů. Tento obrazec se porovnává s databází.
- ❑ **Machine Learning** - Algoritmy (např. neuronové sítě nebo PCA) klasifikují tento obrazec a přiřazují ho ke konkrétní identitě.
- ❑ Biologický čich (psi) stále překonává technologii v citlivosti a schopnosti diskriminace v reálném čase, zejména v hlučném pachovém prostředí.



Výhody ✓

- ❑ **Nenápadnost:** Bezkontaktní snímání, pach vydáváme neustále
- ❑ **Odolnost:** Primární pach nelze zcela vypnout ani důkladným umytím
- ❑ **Zdravotní data:** E-Nose může zároveň detekovat nemoci (diabetes, rakovina)

Nevýhody ✗

- ❑ **Prostředí:** Vítr, vlhkost a teplota mění šíření pachu
- ❑ **Terciární pachy:** Parfémy a deodoranty mohou zahltit senzory
- ❑ **Senzorová únava:** Chemické senzory mají omezenou životnost a trpí driftem

☐ Smart WC ??



Děkuji za pozornost!