



HAL
open science

Détection des anomalies via les capteurs des smartphones dans le domaine de la santé

Moez Krichen

► **To cite this version:**

Moez Krichen. Détection des anomalies via les capteurs des smartphones dans le domaine de la santé. [Rapport de recherche] Sfax University - ReDCAD Laboratory. 2021. hal-03214222

HAL Id: hal-03214222

<https://hal.science/hal-03214222>

Submitted on 1 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Détection des anomalies via les capteurs des smartphones dans le domaine de la santé

Moez Krichen

Laboratoire ReDCAD, Université de Sfax, Tunisie
moez.krichen@redcad.org

Résumé. Les smartphones étant si omniprésents, plus connectés et largement équipés de plusieurs types de capteurs tels que GPS, microphones, caméras, magnétomètres, accéléromètres, etc. il existe une opportunité croissante dans le développement de systèmes de capteurs basés sur les smartphones. Dans cet article, nous proposons une brève enquête sur l'utilisation des capteurs de smartphone dans la détection de différents types d'anomalies dans le domaine de la santé. Nous listons également les principaux avantages et limites de l'utilisation des systèmes de capteurs pour smartphone dans ces domaines.

1 Introduction

Les smartphones sont de plus en plus omniprésents et puissants. Le nombre de smartphones devrait atteindre environ 4 milliards d'unités dans le monde d'ici 2021 (36). La puissance de calcul et les capacités de stockage des smartphones se sont considérablement améliorées grâce aux puces multicœurs et aux mémoires plus volumineuses. Les smartphones sont naturellement équipés de différents types de capteurs tels que thermomètre, magnétomètre, baromètre, microphone, caméra, capteur de lumière ambiante, GPS, capteur de proximité, accéléromètre, etc. Outre l'augmentation de la capacité des smartphones, les coûts d'accès au réseau sont de plus en plus bas. Une connexion Wi-Fi gratuite est également disponible dans de nombreux endroits, permettant aux utilisateurs de téléphones de se connecter facilement à Internet. Tous ces facteurs ouvrent une excellente opportunité de profiter des smartphones dans la construction systèmes de capteurs capables de mesurer des entités physiques (52), de surveiller les conditions routières et de circulation (95), d'estimer la qualité du sommeil (60), de surveiller les niveaux d'exercice (20), nombre de pas personnels (20), interaction sociale (21), etc. Par exemple, dans nos travaux récents précédents (33; 32), nous avons utilisé un smartphone caméras pour détecter la somnolence des conducteurs et nous développons actuellement une nouvelle plate-forme appelée *Road Scanner*¹ qui surveille la qualité de la surface des routes à l'aide de capteurs de smartphones.

Le smartphone surveille son environnement grâce à des capteurs spécifiques. Les données collectées peuvent être traitées par le smartphone lui-même si seules des ressources de calcul limitées sont nécessaires. Sinon, lorsque des ressources de calcul plus

1. <http://road-scanner-app.org>

importantes sont nécessaires, les données collectées sont envoyées aux machines locales (7; 27) ou aux serveurs cloud distants (15; 91).

Le reste du document est organisé comme suit. Dans la section 2, nous donnons un bref aperçu de la liste des capteurs des smartphones modernes et des principaux avantages de leur utilisation par rapport aux réseaux de capteurs sans fil (WSN). La section 3 se concentre sur les applications de soins de santé. La section 4 passe en revue certaines des limitations des systèmes de capteurs basés sur les smartphones. Enfin, la section 5 conclut l'article.

2 Préliminaires

2.1 Capteurs de smartphone

Dans cette section, nous proposons un bref aperçu des capteurs des smartphones modernes :

- GPS : Les appareils GPS (Global Positioning System) interagissent avec les satellites afin de calculer des emplacements précis. Ils sont utilisés dans des applications telles que Google Maps et Uber.
- Magnétomètre : un magnétomètre sur les smartphones est largement connu sous le nom de boussole. Il peut détecter les champs magnétiques et est utilisé pour pointer vers le nord.
- Capteur de proximité : un capteur de proximité utilise une LED infrarouge et un détecteur de lumière infrarouge pour déterminer la distance entre un objet externe et le téléphone. Le capteur détecte lorsqu'un smartphone est tenu contre le visage et désactive l'affichage sur l'écran tactile.
- LiDAR Sensor : Le capteur LiDAR (Light Detection and Ranging) utilise des lasers pour mesurer la profondeur et les distances. Il sera très probablement intégré dans l'iPhone 12 Pro et l'iPhone 12 Pro Max dans un proche avenir.
- Microphone : Le microphone est essentiellement un détecteur de son qui surveille le volume sonore. Outre les appels, il a été utilisé dans des applications d'assistant numérique telles que Cortana, Siri, Google Assistant, etc.
- Appareil photo : Un appareil photo pour smartphone permet de capturer des photos et d'enregistrer des vidéos avec différents niveaux de résolution selon le type et la qualité du smartphone.
- Capteurs de code QR/code-barres : De nombreux smartphones incluent des capteurs de code-barres qui peuvent détecter la lumière réfléchie par le code pour lire le code QR/code-barres.
- Accéléromètre : L'accéléromètre mesure l'accélération, l'inclinaison et les vibrations et calcule le mouvement autour des 3 axes afin d'évaluer précisément l'orientation. L'accéléromètre est également capable de mesurer la vitesse linéaire du téléphone.
- Gyroscope : Le gyroscope fournit des détails de direction et d'orientation tels que gauche/droite et haut/bas avec une plus grande précision. Il peut également calculer la rotation.

- Capteur d’empreintes digitales : le capteur d’empreintes digitales permet de protéger plusieurs smartphones afin que l’appareil ne soit accessible que par les empreintes digitales de son propriétaire. Ce capteur est très utile dans des applications telles que le paiement mobile nécessitant un haut niveau de sécurité.
- Capteurs d’écran tactile : Les capteurs d’écran tactile ont des courants électriques qui les traversent en permanence, et toucher l’écran permet à ces signaux de changer. Ce changement agira comme l’une des entrées de l’appareil.
- Baromètre : de nombreux smartphones incluent un baromètre. Le baromètre évalue la pression atmosphérique, et il est très utile pour suivre les changements météorologiques et pour calculer les altitudes.
- Thermomètre : chaque smartphone est livré avec un thermomètre intégré pour contrôler la température à l’intérieur de l’appareil et éviter tout dommage. Certains smartphones sont cependant équipés de thermomètres supplémentaires pour mesurer les températures ambiantes.
- Podomètre : Le podomètre sert à compter les pas de l’utilisateur du smartphone en marchant ou en courant en fonction des valeurs produites par l’accéléromètre de l’appareil.
- Capteur de lumière ambiante : Le capteur de lumière ambiante est utilisé pour mesurer le niveau de lumière à l’endroit où le smartphone est utilisé. Il permet également d’ajuster automatiquement la luminosité de l’écran du smartphone.
- Capteur de fréquence cardiaque : Le capteur de fréquence cardiaque permet de mesurer le rythme cardiaque grâce à l’utilisation de LED et de capteurs optiques. Il est utilisé par de nombreuses applications de santé et de fitness.
- Capteur d’humidité de l’air : le Galaxy S4 a été le premier téléphone à intégrer un capteur d’humidité de l’air qui mesure l’humidité de l’air ambiant. Jusqu’à présent, seule une classe restreinte d’appareils est équipée de ce type de capteurs.
- Geiger Counter : À notre connaissance, ce capteur n’a été intégré qu’à Pantone 5. Ce smartphone n’est sorti qu’au Japon. Grâce à ce capteur, il est possible de mesurer le niveau de rayonnement dans la zone environnante.

Compte tenu de l’évolution naturelle des progrès technologiques, nous sommes certains que l’avenir révélera un nombre croissant de capteurs installés dans les nouvelles générations de smartphones.

2.2 Les avantages de l’utilisation des capteurs de smartphone par rapport aux réseaux de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensors Network - WSN) se compose d’un ensemble de capteurs répartis géographiquement travaillant ensemble pour suivre les conditions environnementales et physiques. Aujourd’hui, le WSN est identifié comme l’une des technologies les plus importantes et les plus largement utilisées. Les déploiements de WSN (37; 86) couvrent de nombreux objectifs tels que : la surveillance de l’environnement (53; 4), les villes intelligentes (34; 100; 59), les bâtiments intelligents (73; 74), véhicules (99; 94), trafic routier (16; 54), soins de santé (19; 40; 17), IoT (80; 84), etc.

Selon (77), les principaux avantages d'un Smartphone-Based Sensor System (SBSS) par rapport au WSN sont :

- Le faible coût de l'équipement : Profiter des capteurs déjà présents sur les smartphones permet de réduire considérablement les coûts SBSS qui se limitent principalement aux coûts des logiciels et des équipements centraux.
- Les smartphones ont une grande puissance de calcul : chaque smartphone est un ordinateur avec des capacités de calcul parallèle qui peuvent aider à traiter partiellement les données capturées. Cela réduit la quantité de données échangées et traitées au niveau du serveur central.
- La programmation pour les smartphones est pratique : les outils de développement sont gratuits et puissants. Pour les smartphones Android, il est possible de programmer en Java sur Eclipse ou Android Studio Integrated Development Environment (IDE) (29). Les applications pour iPhone peuvent être programmées avec Objective-C ou Swift sur l'IDE XCode (88; 35).
- Les smartphones sont largement connectés à Internet : les smartphones sont capables non seulement de se connecter les uns aux autres, comme dans les réseaux ad hoc, mais également de se connecter à Internet. En plus du faible coût de l'accès Internet et de la large couverture WiFi, les données collectées par les smartphones pourraient être envoyées directement aux serveurs centraux. En conséquence, le modèle de transfert de données devient plus simple et l'architecture réseau de SBSS devient également plus simple qu'un WSN traditionnel.
- Le nombre de smartphones est de plus en plus important : des milliards de smartphones sont potentiellement exploitables dans le monde. Plusieurs recherches (63; 93) ont été menées sur la construction de systèmes de capteurs utilisant des smartphones. Les résultats de l'analyse des données à l'échelle du système apporteront de nombreux avantages dont les participants pourront tirer parti. De tels systèmes sont appelés *crowdsensing systems* (22).

3 Détection des anomalies

Pour encourager un suivi constant de la santé et pour répondre à de bons besoins en matière de santé (71); des technologies de santé faciles à utiliser, non invasives et abordables sont essentielles (65; 79). La prévalence toujours croissante des smartphones, associée à des capteurs intégrés et à des technologies de communication avancées, en fait un outil très prometteur pour la surveillance à distance et continue de la santé et du bien-être d'une personne à un coût supplémentaire minimale. (65). Dans cette section, nous présentons un aperçu des œuvres et innovations de pointe dans le domaine des technologies de la santé axées sur les capteurs de smartphone (14).

3.1 Santé de la peau

Les téléphones mobiles modernes peuvent offrir des solutions prometteuses pour la détection précoce des maladies de la peau, en particulier pour la surveillance à long terme et le dépistage à distance des infections cutanées (31; 13). Dans (55), des sources lumineuses en forme d'anneau pour les caméras des téléphones portables ont

été introduites pour évaluer l'application de l'utilisation d'appareils intelligents pour la cartographie des chromophores cutanés. L'anneau se compose d'une LED blanche et de 3 LED à spectre d'émission séparées (bleue, verte et rouge) et de 2 polariseurs orientés orthogonalement. Dans (39), une approche basée sur un smartphone dont le concept est très similaire à celui des travaux précédents a été introduite pour faciliter le diagnostic des maladies de la peau par des moyens portables et peu coûteux. Au lieu d'utiliser quatre LED distinctes comme dans (55), l'appareil utilise la lampe de poche du smartphone. Dans (38), une solution sur smartphone appelée *DERMA/care* a été introduite pour aider au dépistage du mélanome. Pour capturer des images haute résolution de la peau, un microscope de petite dimension et peu coûteux a été installé sur la caméra de l'appareil intelligent. De plus, les auteurs ont implémenté une application mobile qui permet d'extraire certaines caractéristiques clés des images de peau affectées. Une solution similaire a été introduite dans (2), qui alerte l'utilisateur sur d'éventuels coups de soleil et l'intensité du mélanome lors de la capture d'images de peau.

3.2 Santé ophtalmique

Quelques applications pour smartphones (25; 6) ont été proposées pour réaliser des tests ophtalmiques simples. La première proposition de (64) était le concept d'utilisation de la caméra du téléphone portable pour l'imagerie du fond rétinien. Dans ce travail, une lentille de 20 dioptries a capturé des images du fond rétinien, à l'aide d'une caméra de téléphone portable et d'une torche stylo pour l'éclairage. Le système proposé n'était pas convivial et ne pouvait garantir une qualité d'image élevée. Une technique alternative a été introduite dans (5), pour capturer des images de fond d'oeil à haute résolution. Le nouveau système proposé utilisait la lampe de poche intégrée du smartphone. Dans (28), les auteurs ont proposé une méthode similaire pour capturer des images de fond d'oeil de lapin et d'oeil humain. Ils ont utilisé un outil peu coûteux pour contrôler l'exposition à la lumière, la mise au point et l'éclairage. Dans (75), des pièces jointes imprimées en 3D ont été utilisées pour prendre des images du fond d'oeil de haute qualité. Ces accessoires peuvent placer l'objectif ophtalmique à des distances réglables de l'objectif de l'appareil photo du smartphone. Des appareils similaires ont été présentés dans (90; 70).

3.3 Santé pulmonaire

Une identification rapide des troubles pulmonaires et une surveillance continue de la sécurité pulmonaire sont importantes pour des soins médicaux rapides et efficaces. Plusieurs scientifiques ont utilisé le microphone d'un smartphone pour identifier le rythme de la respiration et de la toux, et ont examiné les signaux audio capturés dans le but de créer une méthode peu coûteuse et compacte pour une estimation plus rapide de la santé pulmonaire. Une application interactive a été proposée dans (92) permet de mesurer l'intensité et la fréquence du son d'entrée. Il est également utilisé pour déterminer le volume moyen du débit d'air et pour se calibrer pour classer les fréquences d'expiration, d'inspiration et de silence. Les interférences provenant d'autres sources environnantes peuvent cependant déformer les sons respiratoires. Un algorithme

d'identification de la toux suggéré dans (62) a été utilisé pour examiner les signaux audio captés par le microphone mobile. Lors de la détection des incidents de toux, les résultats obtenus ont indiqué une sensibilité de 92 % et un taux de faux positifs de 0,5 %. Cependant, le téléphone a été placé dans la poche de la chemise ou autour du cou de l'utilisateur pour améliorer la qualité audio du son capturé ; une contrainte qui pourrait ne pas convenir à un usage quotidien. Certains scientifiques (26; 96; 61) ont utilisé le microphone pour créer un spiromètre à faible coût qui mesure le volume d'air inspiré/expiré. En effet, les spiromètres sont couramment utilisés dans la pratique pour mesurer le volume et le débit d'air que les poumons inspirent et expirent pendant la respiration.

3.4 Santé cardiovasculaire

La fréquence cardiaque (82; 83) est un signe vital que les médecins utilisent généralement pour reconnaître les maladies cardiaques. À l'aide de capteurs de caméra de téléphones portables, la fréquence cardiaque à partir du signal de photopléthysmogramme dérivé de la vidéo de la peau nue (comme le visage ou le bout du doigt) peut être estimée. Dans (76), les caméras arrière et avant d'un smartphone ont été utilisées pour suivre simultanément les fréquences cardiaque et respiratoire. Comme d'habitude, la fréquence cardiaque a été collectée à partir du signal du photopléthysmogramme du bout du doigt monté sur la caméra arrière. La caméra frontale a été utilisée pour mesurer le taux de respiration en surveillant l'activité abdominale et thoracique. Cependant, cette technique de surveillance de la fréquence respiratoire limite les mouvements du corps pour éviter les artefacts de mouvement lors de l'enregistrement de vidéos. De plus, une plus grande prudence est requise en présence de tissus à motifs et colorés qui pourraient avoir une influence négative sur la précision de l'estimation de la fréquence respiratoire. Le système mentionné précédemment est basé sur un contact, obligeant les utilisateurs à maintenir leurs doigts en contact étroit avec l'objectif de l'appareil photo du téléphone. Dans (56), un autre programme de surveillance du pouls cardiaque sans contact appelé *FaceBeat* a été ajouté. De plus, contrairement au processus traditionnel qui mesure la fréquence cardiaque à partir de la fluctuation de la lumière qui est réfléchié à travers différents canaux de couleur, les scientifiques de (89) ont suggéré une technique qui calcule à la fois les fréquences cardiaques et respiratoires en mesurant la déviation de la teinte de la lumière réfléchié par le visage de l'utilisateur.

3.5 Santé mentale

De nombreuses études ont utilisé les données des smartphones pour mesurer ou estimer la santé mentale globale d'une personne, comme le niveau de stress quotidien, l'humeur ou l'anxiété sociale. Par exemple, les auteurs de (30) ont examiné les données de localisation GPS de 16 lycéens, et il a été confirmé qu'il existe de fortes corrélations négatives entre l'anxiété sociale des élèves et le temps passé à la religion des endroits. Dans (3; 66), les données collectées à partir de l'accéléromètre ainsi que les modèles SMS, l'historique des appels et les activités du smartphone ont été examinés pour évaluer l'humeur. Une estimation basée sur la méthode de la chaîne de Markov de Monte Carlo a été proposée dans (66) et a atteint une performance prédictive d'humeur de

70 %. De plus, une technique de régression linéaire a été adoptée dans (3) pour estimer l'humeur sur la base des données du téléphone portable. Dans (10), des efforts ont été faits pour évaluer les facteurs liés aux niveaux quotidiens de stress et à l'état de santé mentale en collectant des données à partir des capteurs des appareils (microphone, capteur de lumière, GPS et accéléromètre) et des informations sur l'utilisation des smartphones. Là, les scientifiques ont trouvé une corrélation avec les taux de stress quotidiens entre la mobilité et la période de sommeil. De plus, cette recherche a démontré que le comportement kinesthésique, le comportement géospatial, la quantité de sommeil et la longueur de la voix étaient également corrélés aux problèmes de santé mentale. En outre, plusieurs autres études dans la littérature ont exploré les informations sur l'utilisation des appareils mobiles, les données du capteur du smartphone pour déterminer différents problèmes de santé mentale tels que la schizophrénie (11; 23), le trouble bipolaire (1; 8) et dépression (87; 98).

3.6 maladie de Parkinson

Un certain nombre d'études (81; 72; 97) ont utilisé l'accéléromètre du smartphone pour détecter le gel du symptôme de la marche, qui est un déficit de marche courant dans la maladie de Parkinson avancée. Par exemple, l'étude (18) a présenté une expérience pilote concernant l'évaluation de l'utilité du traitement et de l'analyse simultanées des accélérations du signal vocal et des tremblements de la main pour le dépistage du patient et le suivi des progrès de la guérison, en utilisant les données acquises avec un smartphone Android de milieu de gamme. Les échantillons ont ensuite été analysés et une tentative de classification a été faite à l'aide de méthodes statistiques et de techniques d'apprentissage automatique. Il a été démontré que même pour une population limitée, le classificateur atteint une précision d'environ 85 %. Dans (78), les auteurs ont présenté *Apkinson*, une application pour smartphone pour le suivi moteur et l'évaluation des patients atteints de la maladie de Parkinson. L'application est fondée sur des techniques déjà établies, par exemple, l'évaluation de l'articulation et de la prononciation de la parole, la précision du tapotement dans le mouvement de la main et le gel et la régularité de la marche en marchant. Les résultats préliminaires montrent que la majorité des mesures sont appropriées pour faire la distinction entre les témoins et les patients. La signification est estimée par des tests statistiques. L'étude discutée dans (85) visait à explorer à travers des capteurs (gyroscope et accéléromètre 3D) dans un appareil téléphonique placé sur la tête de la personne les caractéristiques d'une démarche humaine lors d'un examen neurologique de la marche couramment utilisé. Cela a permis de réduire la quantité de données et de gagner du temps par rapport aux techniques d'enregistrement vidéo en mouvement.

4 Principales limitations des capteurs de smartphone

Selon (77), l'utilisation des smartphones comme système de capteurs présente également de nombreux défis :

- Les données capturées ne sont pas complètes ou uniformes. La collecte des données dépend de la localisation du participant. Les participants peuvent démarrer

Détection des anomalies via les capteurs des smartphones dans le domaine de la santé

ou arrêter le programme de collecte de données sur leur téléphone en fonction de la situation. En conséquence, les échantillons prélevés sur les téléphones portables sont généralement distribués de manière aléatoire dans l'espace et dans le temps et sont incomplets. De plus, la qualité des smartphones est très variable. Cela se traduit par différents niveaux d'exactitude des données. Les écarts dans la qualité et la distribution des données constituent également un défi majeur, qui nécessite des méthodes d'analyse adaptatives basées sur la qualité et la densité des données collectées.

- Il est assez difficile d'évaluer la fiabilité des données. Les participants peuvent par inadvertance positionner leurs appareils pour enregistrer des mesures incorrectes. Par exemple, un participant stocke le téléphone dans son sac pour acquérir des informations sur le bruit urbain. Si des anomalies routières sont détectées (nids-de-poule, ralentisseurs, etc.), laisser le téléphone dans n'importe quelle orientation rend également sa détection difficile. De plus, les participants peuvent involontairement ajouter de fausses informations. Par exemple, faites un cri en participant à la collecte d'informations sur le bruit urbain, ou changez de téléphone si des anomalies de circulation sont détectées. Cette difficulté nécessite une analyse fiable et la suppression des fausses données des participants.
- Il est nécessaire de réserver les ressources du smartphone pour le participant. L'utilisation principale des smartphones a été réservée aux activités habituelles des participants, telles que passer des appels, accéder à Internet, jouer, etc. Les participants se porteront volontaires pour fournir des données si le processus proposé n'alourdit pas le téléphone en prenant beaucoup de CPU, mémoire, batterie et ressources réseau. Par conséquent, le mécanisme de collecte et d'analyse des données doit être construit avec soin afin d'optimiser le placement cite 6476832 et la consommation de ces différents types de ressources.
- Il est nécessaire de préserver la confidentialité des utilisateurs. Sans aucun mécanisme de protection approprié, les smartphones sont transformés en petits espions, révélant éventuellement des informations confidentielles sur leurs propriétaires. De nombreux participants sont conscients des conséquences possibles et peuvent par la suite hésiter à contribuer aux efforts de collecte de données et de détection des anomalies.

Domaine Général	Domaine Spécifique	Année Référence	Nom de l'Outil	Capteurs du Smartphone	Équipement Supplémentaire	Système d'Exploitation
Surveillance des soins de santé	Santé de la peau	2015 - (55)	-	Caméra	Anneau LED - Polariseurs	Android
		2016 - (39)	SpectroVision	Caméra	Lentilles - Miroir	Android
		2012 - (38)	DERMA/care	Caméra	Microscope à faible coût	iOS
	Santé Ophtalmique	2010 - (64)	-	Caméra	Lentilles 20D - Lampe torche	iOS
		2012 - (5)	-	Caméra	Lentilles 20D ou 25D	-
		2013 - (28)	Filmic Pro	Caméra	Lentilles 20D et Koeppel	iOS
		2016 - (92)	Flappy Breath	Microphone	Ceinture de souffle Advanpro	Android
	Santé pulmonaire	2011 - (62)	-	Microphone	-	-
		2016 - (26)	SpiroCall	Microphone	-	Any
	Santé cardiovasculaire	2016 - (76)	-	Caméras Doubles	Ceinture de Respiration	Microsoft Windows
		2012 - (56)	FaceBeat	Caméra	Système d'acquisition d'ECG	Android
		2018 - (89)	-	Caméra	Système d'acquisition d'ECG	iOS
		2016 - (30)	-	GPS	Moniteur de fréquence cardiaque au doigt	Android
	Santé mentale	2016 - (3)	eMate - iYouVU	Accéléromètre	-	-
		2015 - (10)	-	GPS - Microphone Capteur de Lumière Accéléromètre	Serveur d'étude	Android
		2020 - (18)	-	Microphone Accéléromètre	-	Android
	la maladie de Parkinson	2020 - (78)	Apkinson	Microphone Accéléromètre Gyroscope	-	Android

TAB. 1 – Résumé des principaux travaux couverts (le symbole “ - ” signifie que les informations considérées ne sont pas disponibles).

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une brève enquête sur l'utilisation des Smartphone Based Sensor Systems (SBSS) dans la détection de différents types d'anomalies dans de nombreux domaines. Un résumé des travaux couverts par cette enquête est donné dans le tableau 1. En pensant à l'avenir, le nombre de téléphones mobiles ne cesse d'augmenter, la capacité des smartphones ne cesse de s'améliorer, les capteurs des smartphones se diversifient de plus en plus, la connexion à Internet depuis les smartphones devient également de plus en plus abondante. Les avantages du SBSS attirent les chercheurs dans ce domaine. Cependant, il reste encore de nombreux défis à relever pour tirer parti des énormes ressources disponible via les smartphones. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de mener des recherches pour améliorer l'ensemble des composants du système : la méthode de détection, l'échange de données, l'analyse des données collectées, l'optimisation des ressources consommées, la protection des données privées et sensibles contre d'éventuelles attaques (50; 46; 24; 47; 49; 48; 45; 9) utilisant différentes techniques possibles disponibles dans la littérature comme les méthodes formelles (50; 43; 58; 68; 67; 69; 69; 57; 51; 12; 42; 41) et les arbres d'attaque (46; 44).

Références

- [1] Saeed Abdullah, Mark Matthews, Ellen Frank, Gavin Doherty, Geri Gay, and Tanzeem Choudhury. Automatic detection of social rhythms in bipolar disorder. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 23(3) :538–543, 2016.
- [2] Omar Abuzagheh, Buket D Barkana, and Miad Faezipour. Noninvasive real-time automated skin lesion analysis system for melanoma early detection and prevention. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 3 :1–12, 2015.
- [3] Joost Asselbergs, Jeroen Ruwaard, Michal Ejdy, Niels Schrader, Marit Sijbrandij, and Heleen Riper. Mobile phone-based unobtrusive ecological momentary assessment of day-to-day mood : an explorative study. *Journal of medical Internet research*, 18(3) :e72, 2016.
- [4] Manlio Bacco, Franca Delmastro, Erina Ferro, and Alberto Gotta. Environmental monitoring for smart cities. *IEEE Sensors Journal*, 17(23) :7767–7774, 2017.
- [5] Andrew Bastawrous. Smartphone funduscopy. *Ophthalmology*, 119(2) :432–433, 2012.
- [6] Andrew Bastawrous. Increasing access to eye care... there's an app for that. peek : smartphone technology for eye health. *International journal of epidemiology*, 45(4) :1040–1043, 2016.
- [7] P. Beckman, R. Sankaran, C. Catlett, N. Ferrier, R. Jacob, and M. Papka. Waggle : An open sensor platform for edge computing. In *2016 IEEE SENSORS*, pages 1–3, 2016.
- [8] Till Beiwinkel, Sally Kindermann, Andreas Maier, Christopher Kerl, Jörn Mook, Guido Barbian, and Wulf Rössler. Using smartphones to monitor bipolar disorder

- symptoms : a pilot study. *JMIR mental health*, 3(1), 2016.
- [9] Ouissem Ben Fredj, Alaeddine Mihoub, Moez Krichen, Omar Cheikhrouhou, and Abdelouahid Derhab. Cybersecurity attack prediction : A deep learning approach. In *13th International Conference on Security of Information and Networks*, pages 1–6, 2020.
- [10] Dror Ben-Zeev, Emily A Scherer, Rui Wang, Haiyi Xie, and Andrew T Campbell. Next-generation psychiatric assessment : Using smartphone sensors to monitor behavior and mental health. *Psychiatric rehabilitation journal*, 38(3), 2015.
- [11] Dror Ben-Zeev, Rui Wang, Saeed Abdullah, Rachel Brian, Emily A Scherer, Lisa A Mistler, Marta Hauser, John M Kane, Andrew Campbell, and Tanzeem Choudhury. Mobile behavioral sensing for outpatients and inpatients with schizophrenia. *Psychiatric services*, 2016.
- [12] Saddek Bensalem, Moez Krichen, Lotfi Majdoub, Riadh Robbana, and Stavros Tripakis. A simplified approach for testing real-time systems based on action refinement. In *ISoLA*, pages 191–202, 2007.
- [13] Alexander BÖRVE, Johan Dahlén Gyllencreutz, Karin Terstappen, Eva Johansson Backman, Anette Alden-Bratt, Markus Danielsson, Martin Gillstedt, Carin Sandberg, and John Paoli. Smartphone teledermoscopy referrals : a novel process for improved triage of skin cancer patients. *Acta dermato-venereologica*, 95(2) :186–190, 2015.
- [14] Yabo Cao, Yujiu Yang, and WenHuang Liu. E-falld : A fall detection system using android-based smartphone. In *2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2012.
- [15] A. Celesti, A. Galletta, L. Carnevale, M. Fazio, A. Łay-Ekuakille, and M. Villari. An iot cloud system for traffic monitoring and vehicular accidents prevention based on mobile sensor data processing. *IEEE Sensors Journal*, 18(12) :4795–4802, 2018.
- [16] H. Chen, C. Lai, and C. Shih. Toward community sensing of road anomalies using monocular vision. *IEEE Sensors Journal*, 16(8), 2016.
- [17] S. Cheng, K. Tom, L. Thomas, and M. Pecht. A wireless sensor system for prognostics and health management. *IEEE Sensors Journal*, 10(4) :856–862, 2010.
- [18] Maurycy Chronowski, Maciej Kłaczyński, Małgorzata Dec-Ćwiek, Karolina Porebska, and Katarzyna Sawczyńska. Speech and tremor tester-monitoring of neurodegenerative diseases using smartphone technology. *Diagnostyka*, 21, 2020.
- [19] G. Cola, M. Avvenuti, A. Vecchio, G. Yang, and B. Lo. An on-node processing approach for anomaly detection in gait. *IEEE Sensors Journal*, 15(11) :6640–6649, 2015.
- [20] Sunny Consolvo, Katherine Everitt, Ian Smith, and James A Landay. Design requirements for technologies that encourage physical activity. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, pages 457–466, 2006.

- [21] Sunny Consolvo, David W McDonald, Tammy Toscos, Mike Y Chen, Jon Froehlich, Beverly Harrison, Predrag Klasnja, Anthony LaMarca, Louis LeGrand, Ryan Libby, et al. Activity sensing in the wild : a field trial of ubifit garden. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 1797–1806, 2008.
- [22] Venkat Surya Dasari, Burak Kantarci, Maryam Pouryazdan, Luca Foschini, and Michele Girolami. Game theory in mobile crowdsensing : A comprehensive survey. *Sensors*, 20(7) :2055, 2020.
- [23] Sonia Difrancesco, Paolo Fraccaro, Sabine N Van Der Veer, Bader Alshoumr, John Ainsworth, Riccardo Bellazzi, and Niels Peek. Out-of-home activity recognition from gps data in schizophrenic patients. In *2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, pages 324–328. IEEE, 2016.
- [24] Ouissem Ben Fredj, Omar Cheikhrouhou, Moez Krichen, Habib Hamam, and Abdelouahid Derhab. An owasp top ten driven survey on web application protection methods. In Joaquin Garcia-Alfaro, Jean Leneutre, Nora Cuppens, and Reda Yaich, editors, *Risks and Security of Internet and Systems*, pages 235–252, Cham, 2021. Springer International Publishing.
- [25] Mario E. Giardini, Iain A. T. Livingstone, Stewart Jordan, Nigel M. Bolster, Tünde Petö, Matthew Burton, and Andrew Bastawrous. A smartphone based ophthalmoscope. In *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014, Chicago, IL, USA, August 26-30, 2014*, pages 2177–2180. IEEE, 2014.
- [26] Mayank Goel, Elliot Saba, Maia Stiber, Eric Whitmire, Josh Fromm, Eric C Larson, Gaetano Borriello, and Shwetak N Patel. Spirocall : Measuring lung function over a phone call. In *Proceedings of the CHI conf. on human factors in computing systems*, 2016.
- [27] J. Grover and R. M. Garimella. Reliable and fault-tolerant iot-edge architecture. In *2018 IEEE SENSORS*, pages 1–4, 2018.
- [28] Luis J Haddock, David Y Kim, and Shizuo Mukai. Simple, inexpensive technique for high-quality smartphone fundus photography in human and animal eyes. *Jour. of ophthalmology*, 2013, 2013.
- [29] Ted Hagos. *Android Studio IDE Quick Reference : A Pocket Guide to Android Studio Development*. Apress, 2019.
- [30] Yu Huang, Haoyi Xiong, Kevin Leach, Yuyan Zhang, Philip Chow, Karl Fua, Bethany A Teachman, and Laura E Barnes. Assessing social anxiety using gps trajectories and point-of-interest data. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pages 898–903, 2016.
- [31] Thomas Hubiche, Laure Valério, Franck Boralevi, Emmanuel Mahe, Christine Bodermer Skandalis, Alice Phan, and Pascal del Giudice. Visualization of patients’ skin lesions on their smartphones : A new step during dermatology visits. *JAMA dermatology*, 152(1) :95–97, 2016.

- [32] Rateb Jabbar, Mohammed Shinoy, Mohamed Kharbeche, Khalifa Al-Khalifa, Moez Krichen, and Kamel Barkaoui. Urban traffic monitoring and modeling system : An iot solution for enhancing road safety. In *2019 International Conference on Internet of Things, Embedded Systems and Communications (IINTEC)*, pages 13–18. IEEE, 2019.
- [33] Rateb Jabbar, Mohammed Shinoy, Mohamed Kharbeche, Khalifa Al-Khalifa, Moez Krichen, and Kamel Barkaoui. Driver drowsiness detection model using convolutional neural networks techniques for android application. In *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)*, pages 237–242. IEEE, 2020.
- [34] R. Jain and H. Shah. An anomaly detection in smart cities modeled as wireless sensor network. In *2016 International Conference on Signal and Information Processing (IconSIP)*, pages 1–5, 2016.
- [35] Muhammad Javed and Mike Estep. Teaching undergraduate software engineering : Xcode mobile app development during dedicated lab periods. In *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pages 843–848. IEEE, 2019.
- [36] Deepak Kalra. Overriding fintech. In *2019 International Conference on Digitization (ICD)*, pages 254–259. IEEE, 2019.
- [37] Dionisis Kandris, Christos Nakas, Dimitrios Vomvas, and Grigorios Koulouras. Applications of wireless sensor networks : an up-to-date survey. *Applied System Innovation*, 3(1) :14, 2020.
- [38] Alexandros Karargyris, Orestis Karargyris, and Alexandros Pantelopoulos. Derma/care : An advanced image-processing mobile application for monitoring skin cancer. In *2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, volume 2, pages 1–7. IEEE, 2012.
- [39] Sewoong Kim, Dongrae Cho, Jihun Kim, Manjae Kim, Sangyeon Youn, Jae Eun Jang, Minkyu Je, Dong Hun Lee, Boreom Lee, Daniel L Farkas, et al. Smartphone-based multispectral imaging : system development and potential for mobile skin diagnosis. *Biomedical optics express*, 7(12) :5294–5307, 2016.
- [40] David C. Klonoff. Fog computing and edge computing architectures for processing data from diabetes devices connected to the medical internet of things. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 11(4) :647–652, 2017. PMID : 28745086.
- [41] Moez Krichen. 2 state identification. In *Model-based testing of reactive systems*, pages 35–67. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [42] Moez Krichen. A formal framework for conformance testing of distributed real-time systems. In *International Conference On Principles Of Distributed Systems*, pages 139–142. Springer, 2010.
- [43] Moez Krichen. Improving formal verification and testing techniques for internet of things and smart cities. *Mobile Networks and Applications*, pages 1–12, 2019.
- [44] Moez Krichen. Un nouveau cadre basé sur des modèles pour le test de sécurité à l’aide d’arbres d’attaque et d’automates temporisés. 2020.

- [45] Moez Krichen. *Tests basés sur des modèles et méthodes formelles pour la sécurité des services Web*. PhD thesis, REDCAD Laboratory, 2021.
- [46] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. A new model-based framework for testing security of iot systems in smart cities using attack trees and price timed automata. In *14th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering - ENASE 2019*, 2019.
- [47] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. Towards optimizing the placement of security testing components for internet of things architectures. In *2019 IEEE/ACS 16th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pages 1–2. IEEE, 2019.
- [48] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. Optimizing the placement of security testing components for internet of things architectures. 2020.
- [49] Moez Krichen, Omar Cheikhrouhou, Mariam Lahami, Roobaea Alroobaea, and Afef Jmal Maâlej. Towards a model-based testing framework for the security of internet of things for smart city applications. In *International Conference on Smart Cities, Infrastructure, Technologies and Applications*, pages 360–365. Springer, Cham, 2017.
- [50] Moez Krichen, Mariam Lahami, Omar Cheikhrouhou, Roobaea Alroobaea, and Afef Jmal Maâlej. Security testing of internet of things for smart city applications : A formal approach. In *Smart Infrastructure and Applications*, pages 629–653. Springer, Cham, 2020.
- [51] Moez Krichen, Afef Jmal Maâlej, and Mariam Lahami. A model-based approach to combine conformance and load tests : an ehealth case study. *International Journal of Critical Computer-Based Systems*, 8(3-4) :282–310, 2018.
- [52] Jochen Kuhn. Relevant information about using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments. *American Journal of Physics*, 82(2) :94–94, 2014.
- [53] Nihal Kularatna and BH Sudantha. An environmental air pollution monitoring system based on the ieee 1451 standard for low cost requirements. *IEEE Sensors Journal*, 8(4) :415–422, 2008.
- [54] N. Kumar, A. Barthwal, D. Lohani, and D. Acharya. Modeling iot enabled automotive system for accident detection and classification. In *2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 1–6, 2020.
- [55] Ilona Kuzmina, Matiss Lacis, Janis Spigulis, Anna Berzina, and Lauma Valeine. Study of smartphone suitability for mapping of skin chromophores. *Journal of biomedical optics*, 20(9) :090503, 2015.
- [56] Sungjun Kwon, Hyunseok Kim, and Kwang Suk Park. Validation of heart rate extraction using video imaging on a built-in camera system of a smartphone. In *2012 Annual Intl Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 2174–2177. IEEE, 2012.
- [57] Mariam Lahami, Moez Krichen, Hajer Barhoumi, and Mohamed Jmaiel. Selective test generation approach for testing dynamic behavioral adaptations. In *IFIP International Conference on Testing Software and Systems*, pages 224–239.

Springer, Cham, 2015.

- [58] Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaïel. Runtime testing approach of structural adaptations for dynamic and distributed systems. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 51(4) :259–272, 2015.
- [59] T. P. Lambrou, C. C. Anastasiou, C. G. Panayiotou, and M. M. Polycarpou. A low-cost sensor network for real-time monitoring and contamination detection in drinking water distribution systems. *IEEE Sensors Journal*, 14(8) :2765–2772, 2014.
- [60] Nicholas D Lane, Mashfiqui Mohammad, Mu Lin, Xiaochao Yang, Hong Lu, Shahid Ali, Afsaneh Doryab, Ethan Berke, Tanzeem Choudhury, and Andrew Campbell. Bewell : A smartphone application to monitor, model and promote wellbeing. In *5th int. ICST conf. on pervasive computing technologies for health-care*, pages 23–26, 2011.
- [61] Eric C Larson, Mayank Goel, Morgan Redfield, Gaetano Boriello, Margaret Rosenfeld, and Shwetak N Patel. Tracking lung function on any phone. In *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Computing for Development*, pages 1–2, 2013.
- [62] Eric C Larson, TienJui Lee, Sean Liu, Margaret Rosenfeld, and Shwetak N Patel. Accurate and privacy preserving cough sensing using a low-cost microphone. In *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, pages 375–384, 2011.
- [63] Yang Liu, Tong Feng, Mugen Peng, Zhongbai Jiang, Zhiyuan Xu, Jianfeng Guan, and Su Yao. Comp : Online control mechanism for profit maximization in privacy-preserving crowdsensing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(7) :1614–1628, 2020.
- [64] Ron K Lord, Vinay A Shah, Ashley N San Filippo, and Rohit Krishna. Novel uses of smartphones in ophthalmology. *Ophthalmology*, 117(6) :1274–1274, 2010.
- [65] Hong Lu, Denise Frauendorfer, Mashfiqui Rabbi, Marianne Schmid Mast, Gokul T Chittaranjan, Andrew T Campbell, Daniel Gatica-Perez, and Tanzeem Choudhury. Stresssense : Detecting stress in unconstrained acoustic environments using smartphones. In *Proceedings of the 2012 ACM conference on ubiquitous computing*, pages 351–360, 2012.
- [66] Yuanchao Ma, Bin Xu, Yin Bai, Guodong Sun, and Run Zhu. Infer daily mood using mobile phone sensing. *Adhoc & Sensor Wireless Networks*, 20, 2014.
- [67] Afef Jmal Maâlej and Moez Krichen. Study on the limitations of ws-bpel compositions under load conditions. *The Computer Journal*, 58(3) :385–402, 2015.
- [68] Afef Jmal Maâlej, Moez Krichen, and Mohamed Jmaïel. Conformance testing of ws-bpel compositions under various load conditions. In *2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference*, pages 371–371. IEEE, 2012.
- [69] Afef Jmal Maâlej, Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaïel. Distributed and resource-aware load testing of ws-bpel compositions. In *ICEIS (2)*, pages 29–38, 2018.

- [70] Robi N Maamari, Jeremy D Keenan, Daniel A Fletcher, and Todd P Margolis. A mobile phone-based retinal camera for portable wide field imaging. *British Journal of Ophthalmology*, 98(4) :438–441, 2014.
- [71] Sumit Majumder and M Jamal Deen. Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. *Sensors*, 19(9) :2164, 2019.
- [72] Brad Manor, Wanting Yu, Hao Zhu, Rachel Harrison, On-Yee Lo, Lewis Lipsitz, Thomas Trivison, Alvaro Pascual-Leone, and Junhong Zhou. Smartphone app-based assessment of gait during normal and dual-task walking : demonstration of validity and reliability. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(1) :e36, 2018.
- [73] S. Matsuguma and A. Kajiwaru. Bathroom accident detection with 79ghz-band millimeter wave sensor. In *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 1–5, 2019.
- [74] V. Moreno, M. A. Zamora, and A. F. Skarmeta. A low-cost indoor localization system for energy sustainability in smart buildings. *IEEE Sensors Journal*, 16(9) :3246–3262, 2016.
- [75] David Myung, Alexandre Jais, Lingmin He, Mark S Blumenkranz, and Robert T Chang. 3d printed smartphone indirect lens adapter for rapid, high quality retinal imaging. *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 3(1) :9–15, 2014.
- [76] Yunyoung Nam, Youngsun Kong, Bersain Reyes, Natasa Reljin, and Ki H Chon. Monitoring of heart and breathing rates using dual cameras on a smartphone. *PloS one*, 11(3) :e0151013, 2016.
- [77] Van khang Nguyen. *Detection and aggregation of anomalies in data from smartphone sensors*. Theses, Univ. Paris-Saclay, December 2019.
- [78] Juan Rafael Orozco-Arroyave, Juan Camilo Vásquez-Correa, Philipp Klumpp, Paula Andrea Pérez-Toro, Daniel Escobar-Grisales, Nils Roth, Cristian David Ríos-Urrego, Martin Strauss, Helber Andrés Carvajal-Castaño, Sebastian Bayerl, et al. Apkinson : the smartphone application for telemonitoring parkinson’s patients through speech, gait and hands movement. *Neurodegenerative Disease Management*, 2020.
- [79] Samir Ouchani and Moez Krichen. Ensuring the correctness and well modeling of intelligent healthcare management systems. In *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, pages 364–372. Springer, Cham, 2020.
- [80] J. Portilla, G. Mujica, J. Lee, and T. Riesgo. The extreme edge at the bottom of the internet of things : A review. *IEEE Sensors Journal*, 19(9) :3179–3190, 2019.
- [81] Gabriela Postolache and Octavian Postolache. Smartphone sensing technologies for tailored parkinson’s disease diagnosis and monitoring. In *Mobile Solutions and Their Usefulness in Everyday Life*. Springer, 2019.
- [82] Saeed Mian Qaisar, Moez Krichen, and Fatma Jallouli. Multirate ecg processing and k-nearest neighbor classifier based efficient arrhythmia diagnosis. In *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, pages 329–337. Springer, Cham, 2020.
- [83] Saeed Mian Qaisar, Alaeddine Mihoub, Moez Krichen, and Humaira Nisar. Mul-

- tirate processing with selective subbands and machine learning for efficient arrhythmia classification. *Sensors*, 21(4) :1511, 2021.
- [84] T. Rahman, X. Yao, G. Tao, H. Ning, and Z. Zhou. Efficient edge nodes re-configuration and selection for the internet of things. *IEEE Sensors Journal*, 19(12) :4672–4679, 2019.
- [85] Sergey Reginya, Alexander Yu Meigal, Liudmila I Gerasimova-Meigal, Kirill Prokhorov, and Alex Moschevikin. Using smartphone inertial measurement unit for analysis of human gait. *Int. Jou. of Embedded and Real-Time Communication Systems*, 10(3), 2019.
- [86] Pokala Rupa, SP Singh, S Arvind, and Prashant Johri. A comprehensive survey on applications of wireless sensor networks and approaches to control congestion. In *ICDSMLA 2019*, pages 805–812. Springer, 2020.
- [87] Sohrab Saeb, Emily G Lattie, Stephen M Schueller, Konrad P Kording, and David C Mohr. The relationship between mobile phone location sensor data and depressive symptom severity. *PeerJ*, 4 :e2537, 2016.
- [88] Ahmad Sahar and Craig Clayton. *iOS 13 Programming for Beginners : Get started with building iOS apps with Swift 5 and Xcode 11*. Packt Publishing Ltd, 2020.
- [89] Shourjya Sanyal and Koushik Kumar Nundy. Algorithms for monitoring heart rate and respiratory rate from the video of a user’s face. *Jour. of translational engineering in health and medicine*, 6 :1–11, 2018.
- [90] Ashish Sharma, Saranya Devi Subramaniam, KI Ramachandran, Chinnasamy Lakshmikanthan, Soujanya Krishna, and Selva K Sundaramoorthy. Smartphone-based fundus camera device (mii ret cam) and technique with ability to image peripheral retina. *European journal of ophthalmology*, 26(2) :142–144, 2016.
- [91] X. Sheng, X. Xiao, J. Tang, and G. Xue. Sensing as a service : A cloud computing system for mobile phone sensing. In *SENSORS, IEEE*, 2012.
- [92] Matthew Stafford, Feng Lin, and Wenyao Xu. Flappy breath : A smartphone-based breath exergame. In *2016 IEEE First International Conference on Connected Health : Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, pages 332–333. IEEE, 2016.
- [93] Peng Sun, Zhibo Wang, Liantao Wu, Yunhe Feng, Xiaoyi Pang, Hairong Qi, and Zhi Wang. Towards personalized privacy-preserving incentive for truth discovery in mobile crowdsensing systems. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2020.
- [94] F. Tabei, B. Askarian, and J. W. Chong. Accident detection system for bicycle riders. *IEEE Sensors Journal*, pages 1–1, 2020.
- [95] Pankaj P Tasgaonkar, Rahul Dev Garg, and Pradeep Kumar Garg. Vehicle detection and traffic estimation with sensors technologies for intelligent transportation systems. *Sensing and Imaging*, 21(1), 2020.
- [96] Tharoeun Thap, Heewon Chung, Changwon Jeong, Ki-Eun Hwang, Hak-Ryul Kim, Kwon-Ha Yoon, and Jinseok Lee. High-resolution time-frequency spectrum-based lung function test from a smartphone microphone. *Sensors*, 16(8) :1305,

2016.

- [97] William R VanWye and Donald L Hoover. Management of a patient's gait abnormality using smartphone technology in-clinic for improved qualitative analysis : A case report. *Physiotherapy theory and practice*, 34(5) :403–410, 2018.
- [98] Fabian Wahle, Tobias Kowatsch, Elgar Fleisch, Michael Rufer, and Steffi Weidt. Mobile sensing and support for people with depression : a pilot trial in the wild. *JMIR mHealth and uHealth*, 4(3) :e111, 2016.
- [99] Y. Wang, N. Masoud, and A. Khojandi. Real-time sensor anomaly detection and recovery in connected automated vehicle sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pages 1–11, 2020.
- [100] Y. Zheng, S. Rajasegarar, C. Leckie, and M. Palaniswami. Smart car parking : Temporal clustering and anomaly detection in urban car parking. In *2014 IEEE Ninth Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pages 1–6, 2014.