

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Ανάπτυξη Εφαρμογής Κινητών συσκευών για την καταγραφή της Ηχορύπανσης με τη μέθοδο του Πληθοπορισμού

Πτυχιακή εργασία

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΣΤΡΑΤΑΚΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Τσερπές
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Αθήνα, 2022

HAROKOPIO UNIVERSITY



SCHOOL OF DIGITAL TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATICS AND TELEMATICS

Developing a mobile app for measuring noise pollution using crowdsourcing

Bachelor thesis

EFSTATHIOS STRATAKOS

Supervising Professor: Konstantinos Tserpes

Associate Professor, Department of Informatics and Telematics, Harokopio University

Athens, 2022

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Τσερπές
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρίστος Χαλκιάς
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρήστος Μιχαλακέλης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ο Ευστάθιος Στρατάκος δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1)** Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2)** Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι περισσότερες ευχαριστίες αξίζουν να δοθούν στον επιβλέπων καθηγητή της παρούσας πτυχιακής εργασίας, Κωνσταντίνο Τσερπέ, για την ανάθεση του θέματος, αλλά και για την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υλοποίησης. Η βοήθεια και αφοσίωση που προσέφερε σχημάτισαν μία άριστη συνεργασία και ένα κλίμα εμπιστοσύνης που οδήγησαν σε μία ποιοτική έρευνα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους: Στέφανος Στίγκας, Σοφιανός Σοφιανόπουλος και την Ανδριανή Κροντηρά για την πολύτιμη συμβολή τους στην περίοδο συγγραφής της μελέτης.

Τέλος, ευχαριστώ όσα άτομα έδειξαν υποστήριξη όλο τον καιρό.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	16
2.1 Ηχορύπανση	16
2.2 Ήχος και Κυματικές Ιδιότητες	16
2.3 Ήχος και Ακουστότητα	18
2.4 Αναλογικό και Ψηφιακό Σήμα	23
2.4.1 Σήμα	23
2.4.2 Κατασκευή Ψηφιακού σήματος από αναλογικό	24
2.4.3 Μετασχηματισμός Fourier	26
2.5 Πληθοπορισμός	26
2.5.1 Ορισμοί	26
2.5.2 Μοντέλα	28
2.5.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	29
2.6 Τεχνολογία Ανάπτυξης Λογισμικού	30
2.6.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων	30
2.6.2 Έξυπνες Πόλεις	31
2.6.3 Συμμετοχική Παρακολούθηση	32
2.6.4 Κινητές Συσκευές	33
2.6.5 Πλατφόρμα Android	36

2.7 Σχετική Βιβλιογραφία	37
2.7.1 NoiseTube	37
2.7.2 NoiseCapture	38
2.7.3 Άλλες Υλοποιήσεις	40
3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	42
3.1 Recording.java	43
3.2 NoisePollutionActivity.java	44
3.3 NoisePollutionViewModel.java	46
3.4 BackgroundRecording.java	46
3.5 NoiseRecorder.java	47
3.6 AppCrashHandler, NetworkHelper, Utils	48
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	49
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηχορύπανση αποτελεί ένα από τα πλέον επίκαιρα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν τη διεθνή κοινότητα. Σε συνδυασμό με την άνοδο της αστικοποίησης οδηγούμαστε όλο και πιο γρήγορα στην επιτακτική ανάγκη στροφής προς έξυπνες βιώσιμες πόλεις. Η έκθεση του ανθρώπου σε θόρυβο έχει συνδεθεί με μια πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, από ψυχολογικές έως και μόνιμες λειτουργικές βλάβες. Παρά την προσοχή που έχει λάβει τα τελευταία χρόνια, φαίνεται πως τα απαιτούμενα δεδομένα που χρειάζονται για τη μέτρηση της ηχορύπανσης, υπολείπονται. Με τη χρήση κινητών τηλεφώνων μπορεί να δημιουργηθεί ένα αχανές ασύρματο δίκτυο περιβαλλοντικής παρακολούθησης, ενσωματώνοντας την έννοια του Internet of Things, το οποίο θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι των έξυπνων πόλεων. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην γεφύρωση αυτού του χάσματος με τη δημιουργία μιας εφαρμογής για κινητές συσκευές, NoisePollutionApp, η οποία καταγράφει την ηχορύπανση με τη μέθοδο του πληθοπορισμού και αποστέλλει τα δεδομένα σε μία εξωτερική βάση. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από την εφαρμογή, αφορούν τη μέτρηση της έντασης του ήχου, τη τοποθεσία και τη χρονική στιγμή της μέτρησης. Ακόμη, συλλέγονται στοιχεία που σχετίζονται με φυσικά χαρακτηριστικά του χρήστη και την υποκειμενική του αντίληψη για τον ήχο. Στην αξιολόγηση του συστήματος συμπεραίνεται πως απαιτείται επιπλέον εργασία και τροποποίηση του αλγορίθμου μέτρησης των decibel για να αντιστοιχεί στα διεθνή πρότυπα και να μπορεί να αξιολογηθεί ως προς την ακρίβειά του. Καταλήγοντας, προτείνονται βελτιώσεις και αναβαθμίσεις για μελλοντική επιστημονική μελέτη και διερεύνηση.

Λέξεις Κλειδιά: Ηχορύπανση, Πληθοπορισμός, Ασύρματα Δίκτυα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης, Έξυπνες Βιώσιμες Πόλεις, Έξυπνα Τηλέφωνα, Android

ABSTRACT

Noise pollution is one of the most pertinent environmental problems of concern to the international community. Combined with the rise of urbanization, we are increasingly driven by the urgent need to shift towards smart sustainable cities. Human exposure to noise has been linked to a variety of negative health effects, ranging from psychological to permanent functional impairments. Despite the attention it has received in recent years, it is evident that the data needed to measure noise pollution falls short. By using mobile phones, a vast wireless environmental monitoring network can be created incorporating the concept of the Internet of Things which is considered an integral part of smart cities. This paper aims to bridge this gap by creating a mobile application, NoisePollutionApp, which records noise pollution using crowdsourcing and sends the data to an external database. The information collected by the application consists of the measurement of the sound volume as well as the location and time of the measurement. Furthermore, data related to the user's physical characteristics and the user's subjective perception of the sound are collected. In the evaluation of the system, it is determined that additional work and modification of the decibel measurement algorithm is required to correspond to international standards and to be able to evaluate its accuracy. In conclusion, improvements and upgrades are proposed for future scientific study and investigation.

Key – Words: Noise Pollution, Crowdsourcing, Wireless Sensor Networks, Smart Sustainable Cities, Smartphone, Android

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διαμήκες Κύμα	17
Εικόνα 2: Εγκάρσιο Κύμα	18
Εικόνα 3: Ισοακουστικές Καμπύλες	20
Εικόνα 4: Καμπύλες A, C, Z Σταθμισμένης Ηχοστάθμης.....	21
Εικόνα 5: Διάγραμμα Συστήματος.....	24
Εικόνα 6: Ηχητικό βάθος 16 και 24 bit.....	25
Εικόνα 7: Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier όπου x_n η τιμή του n-οστού δείγματος από τα N συνολικά δείγματα	26
Εικόνα 8: Οπτικοποίηση εφαρμογών συμμετοχικής παρακολούθησης	32
Εικόνα 9: Αριθμός χρηστών smartphone σε εκατομμύρια.....	33
Εικόνα 10: Κατανομή παράδοσης smartphone παγκοσμίως	34
Εικόνα 11: Κατανομή παγκόσμιας αγοράς για mobile OS με Android-69.71% και iOS-29.51%	35
Εικόνα 12: Android robot	36
Εικόνα 13: : Χάρτης θορύβου NoiseTube	38
Εικόνα 14: Στιγμιότυπα από εφαρμογή NoiseCapture	39
Εικόνα 15: Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη μέθοδο του πληθοπορισμού	41
Εικόνα 16: Κεντρική οθόνη NoisePollutionApp.....	42
Εικόνα 17: Συνάρτηση του υπολογισμού των decibel	48

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σχετική ένταση και dB σε περιβαλλοντικούς θορύβους.....	19
Πίνακας 2: Συντελεστής προσαρμογής ηχοστάθμης ανά οκτάβα με βάση IEC61672:2014..	22
Πίνακας 3: Μετρήσεις σε πολύ ήσυχο δωμάτιο	51
Πίνακας 4: Μετρήσεις επιπέδου ομιλίας	52
Πίνακας 5: Μετρήσεις σε Μάζωξη με δυνατή μουσική	53
Πίνακας 6: Μετρήσεις σε πολυσύχναστο δρόμο	54

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

END	Environmental Noise Directive
SPL	Sound Pressure Level
UI / UX	User Interface / User Experience
Π.Ο.Υ.	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
Leq	Equivalent Continuous Sound Level
LAeq	Equivalent Continuous Sound Level with A - weighting
LAm_{ax}	Maximum Sound Pressure Level with A – weighting
LL	Loudness Level
ADC	Analog-to-Digital Converter
PCM	Παλμοκωδική Διαμόρφωση
IoT	Internet of Things
ICT	Information Communication Technology
CPS	Cyber Physical System
OS	Operating System
SDK	Software Development Kit
IDE	Integrated Development Environment
SDI	Spatial Data Infrastructure
SoC	Separation of Concerns
MVVM	Model-View-Viewmodel
SEL	Sound Exposure Level of A – Weighted sound

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η στροφή προς τη βιωσιμότητα δεν αποτελεί απλώς μια ιδέα αλλά μια αναγκαία πορεία που απαιτεί μετασχηματισμούς παγκόσμιας εμβέλειας. Αναδύεται όλο και περισσότερο μια πληθώρα περιβαλλοντικών προκλήσεων που καλείται να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος, από τις οποίες εξαρτάται τόσο η επιβίωσή όσο και η καθημερινότητα του όπως τη ξέρουμε. Οι προκλήσεις αυτές αφορούν σε μεγάλο βαθμό προβλήματα ή διαταραχές στο οικοσύστημα και το βιοφυσικό περιβάλλον και προκύπτουν από επιβλαβή ανθρώπινη δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση (Xu, Zhou, *et al.*, 2017), η καταστροφή των δασών, η ρύπανση των υδάτων, η μείωση της βιοποικιλότητας (Cardinale, Duffy, *et al.*, 2012) και ο υπερπληθυσμός αποτελούν μερικά από τα πιο γνωστά τέτοια ζητήματα και αποτελούν τροχοπέδη για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ήδη από το 2015 (Γενική Γραμματεία Νομικών και Κοινοβουλευτικών Θεμάτων | Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (gslegal.gov.gr)) έχει ξεκινήσει μια συλλογική και συντονισμένη προσπάθεια από κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο για τη θέσπιση ορισμένων στόχων βιώσιμης ανάπτυξης.

Γίνεται όλο και περισσότερο κατανοητό πως οι προκλήσεις που γεννιούνται από τη υποβάθμιση του περιβάλλοντος δε μπορούν να αντιμετωπιστούν χωρίς ριζικές αλλαγές στη κοινωνία μας. Αλλαγές που πρέπει να εφαρμοστούν σε υποδομές και τεχνολογίες, στη κουλτούρα και καθημερινότητα, στη διακυβέρνηση και τους θεσμούς. Σε όλο το κόσμο, οι καινοτόμες μεταρρυθμίσεις αυτές συγκεντρώνονται στις πόλεις. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ONU, 2018) πάνω από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές. Με την ραγδαία συσσώρευση των κατοίκων στις πόλεις, κρίνεται απαραίτητη η διασφάλιση ενός πιο συνδεδεμένου, αποδοτικού και βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος, γνωστό και ως έξυπνη πόλη (Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S., 2014).

Ο θόρυβος αποτελεί ένα από τα πιο επίκαιρα περιβαλλοντικά προβλήματα που επηρεάζουν την υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Η συνεχόμενη αύξηση του κυκλοφοριακού θορύβου, ο οποίος αποτελεί το πιο κοινό τύπο περιβαλλοντικού θορύβου (Grubesa and Suhanek, 2021) σε αστικές περιοχές, έχει οδηγήσει σε πολλαπλές μελέτες γύρω από τις

επιπτώσεις που έχει η ηχορύπανση στον άνθρωπο. Στην Ευρώπη το 20% του πληθυσμού ('Environment noise in europe 2020_TH-AL-20-003-EN-N.pdf') ζει σε περιοχές όπου η ένταση του θορύβου επηρεάζει αρνητικά την υγεία των κατοίκων. Η έκθεση σε θόρυβο συνδέεται ταυτόχρονα με ακουστικές και μη ακουστικές δυσμενείς συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες, όπως νευροσυμπεριφορικές, γνωστικές, καρδιαγγειακές και μεταβολικές (Elise van Kempen et al, 2010) (Rhiannon Thompson et al, 2022) επιπτώσεις, ενώ ανάμεσα σε άλλες μπορεί να προκληθεί και μόνιμη απώλεια ακοής (Zaborowski and Sliwinska, 2017) από την έκθεση σε θόρυβο. Παρά τη σημαντική πρόοδο των τελευταίων ετών στην συλλογή και αναφορά των επιπέδων ηχορύπανσης ανάμεσα στις χώρες, με βάση τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος περισσότερο από το 30% ('Environment noise in europe 2020_TH-AL-20-003-EN-N.pdf') των δεδομένων που απαιτούνται δεν είναι διαθέσιμα (Anon, 1997).

Με την έλλειψη των απαιτούμενων δεδομένων και την ανάγκη καλύτερης υλοποίησης της οδηγίας για τον περιβαλλοντικό θόρυβο (END) ('Assessment and Management of Environmental Risks', 2001) επιβάλλεται η ύπαρξη μιας βελτιωμένης μεθόδου καταγραφής της ηχορύπανσης, το οποίο είναι και ο στόχος της παρούσας εργασίας. Το αποτέλεσμα της εργασίας θα πρέπει να είναι ένα εργαλείο που θα έχει τη δυνατότητα συλλογής ενός μεγάλου όγκου των απαραίτητων δεδομένων σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο μιας περιοχής.

Για τους λόγους αυτούς θα αναπτυχθεί μια εφαρμογή για κινητές συσκευές με την οποία ο χρήστης θα μπορεί να μετρήσει την ένταση του ήχου με ακρίβεια σε συγκεκριμένη τοποθεσία και χρονική στιγμή για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Τα παραπάνω στοιχεία θα συλλέγονται και θα αποθηκεύονται σε μια εξωτερική βάση δεδομένων όπου θα είναι διαθέσιμα. Επιπλέον, για να μπορέσει να συλλεχθεί σημαντικός όγκος πληροφορίας θα πρέπει η εφαρμογή να έχει τη δυνατότητα να διατεθεί σε μεγάλο αριθμό ατόμων, το οποίο θα υλοποιηθεί ακολουθώντας τη μέθοδο του πληθοπορισμού.

Για την ομαλή λειτουργία του έργου αυτού δεν θα πρέπει να παραλειφθούν και ορισμένες μη λειτουργικές αλλά διόλου ασήμαντες απαιτήσεις. Θα πρέπει να δοθεί βαρύτητα στην ιδιωτικότητα του χρήστη ώστε η εφαρμογή να λειτουργεί με σεβασμό προς αυτή και τα δεδομένα που συλλέγονται να είναι τα απολύτως απαραίτητα. Στόχος είναι το περιβάλλον που χειρίζεται ο χρήστης να είναι εύκολο στη χρήση, ενώ οι τεχνολογίες που αξιοποιούνται να επιτρέπουν στην εφαρμογή να είναι εύκολα προσβάσιμη από μεγάλο εύρος συσκευών. Τέλος, έχει νόημα η εφαρμογή να στηθεί και με γνώμονα την απόδοση ώστε να μην επιβαρύνει τη συσκευή στην οποία φιλοξενείται.

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ο ορισμός κάποιων βασικών εννοιών που απαιτούνται για την κατανόηση της παρούσας εργασίας. Πραγματοποιείται μια ανασκόπηση ήδη υπάρχουσων υλοποιήσεων και του τρόπου λειτουργίας τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος. Περιγράφεται η δομή της εφαρμογής και η σύνδεση των τεχνολογιών με έμφαση στη τεχνική φύση του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια συνολική αποτίμηση του έργου σε σχέση με τους αρχικούς στόχους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται παρατηρήσεις πάνω στο συνολικό έργο, ενώ προτείνονται πρόσθετες δυνατότητες για τη βελτίωση του συστήματος μελλοντικά.

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

2.1 Ηχορύπανση

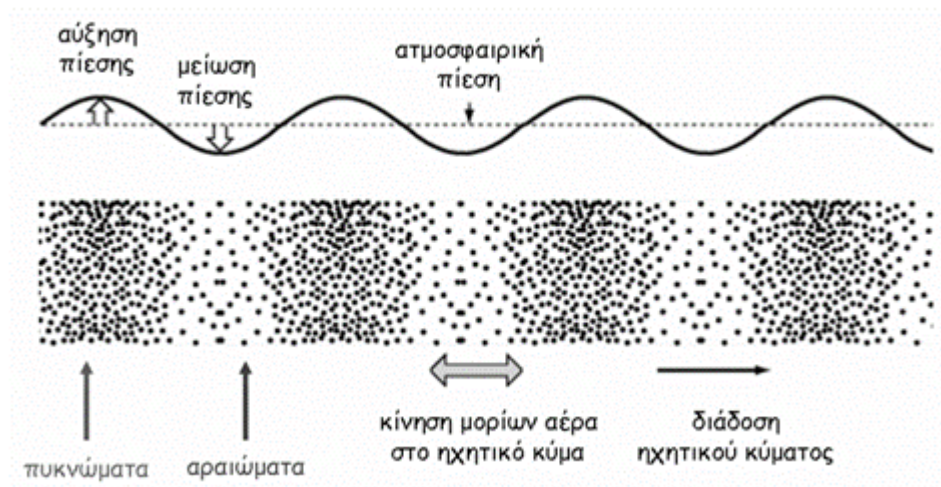
Η ηχορύπανση γενικά ορίζεται ως υπέρμετρος θόρυβος που προκαλεί δυσχέρεια και μπορεί να βλάψει τη φυσιολογική/πνευματική δραστηριότητα του ανθρώπου. Μπορούμε να πούμε πως ο θόρυβος αποτελεί έναν ήχο ο οποίος θεωρείται κατά βάση δυσάρεστος, δυνατός ή ανεπιθύμητος. Από άποψη φυσικής, ο ήχος και ο θόρυβος δεν έχουν ουσιαστική διαφορά, είναι μια μορφή ενέργειας που παράγεται από ένα παλλόμενο σώμα και φτάνοντας στο ανθρώπινο αυτί διεγείρει την αίσθηση της ακοής. Στην ουσία γίνεται λόγος για ηχητικό κύμα που μεταδίδεται μέσω του αέρα. Ως εκ τούτου οι όροι “ήχος” και “θόρυβος” θα χρησιμοποιούνται αδιακρίτως όταν αναφερόμαστε σε χαρακτηριστικά τους (Deerak Jhanwar, 2016).

Είναι εύκολα αντιληπτό πως ο θόρυβος υπάρχει παντού ανάμεσά μας. Ανάλογα με την προέλευσή του κατατάσσεται σε ατμοσφαιρικό, εργασιακό και περιβαλλοντικό. Ο ατμοσφαιρικός θόρυβος είναι ένας τύπος ραδιοφωνικού θορύβου και προκαλείται από φυσικά ατμοσφαιρικά συμβάντα, όπως κεραυνούς και καταιγίδες. Ο εργασιακός θόρυβος αναφέρεται κυρίως σε θόρυβο που επηρεάζει εργαζόμενους στο χώρο εργασίας τους. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος αφορά, σε μια πιο ευρεία έννοια, την ηχορύπανση που προέρχεται από εξωτερικές πηγές, για παράδειγμα ανθρώπινη δραστηριότητα. Στην εργασία αυτή γίνεται λόγος κυρίως για τον τελευταίο τύπο θορύβου, ο οποίος είναι και ο πιο δημοφιλής (Meyer-Bisch, 2005).

2.2 Ήχος και Κυματικές Ιδιότητες

Ένα όργανο, μια φωνή ή οποιοδήποτε άλλο μέσο παράγει ήχο ουσιαστικά εκπέμπει ένα διαδοχικό αριθμό κυμάτων αέρα προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν ορισμένα από αυτά τα κύματα φτάνουν στο ανθρώπινο αυτί, τα κατάλληλα νεύρα μεταφράζουν τις δονήσεις υπό τη μορφή σημάτων στον εγκέφαλο χαρίζοντας έτσι την αίσθηση της ακοής. Στην πραγματικότητα τα κύματα δεν μεταφέρουν ύλη αλλά ενέργεια μέσα από τις διαταραχές στην ισορροπία των μορίων του αέρα. Πιο ειδικά, τα ηχητικά κύματα ανήκουν στην

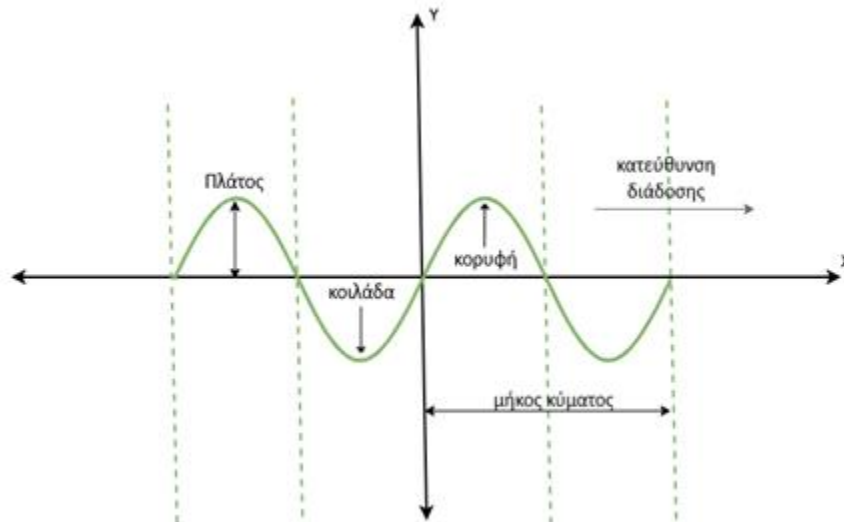
κατηγορία των διαμήκων, αφού τα σημεία του ελαστικού μέσου, δηλαδή του αέρα, ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



Εικόνα 1: Διαμήκες Κύμα

(<http://archive.eclass.uth.gr/eclass/courses/SEYB145/>)

Αυτό που ονομάζουμε ύψος στο χώρο της μουσικής πρόκειται για τη συχνότητα του ηχητικού κύματος, δηλαδή ο αριθμός των πυκνωμάτων/αραιωμάτων ανά μονάδα χρόνου, κατά βάση ανά δευτερόλεπτο. Η πίεση ή ενέργεια του ηχητικού κύματος, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ένταση και ηχηρότητα του ήχου, εκφράζεται από το πλάτος ή το ύψος του κύματος προς κοιλάδα ή κορυφή. Ακόμη, ο χρόνος που παραμένει ο ήχος ορίζεται ως διάρκεια, ενώ αυτό που ονομάζουμε χροιά ή χρώμα του ήχου είναι συνάρτηση όλων των παραπάνω (Carl E. Seashore, 1967).



Εικόνα 2: Εγκάρσιο Κύμα

(‘What are the Characteristics of Sound Waves?’, 2021)

2.3 Ήχος και Ακουστότητα

Η μέτρηση ενός ήχου γίνεται κυρίως με γνώμονα το πλάτος και τη συχνότητα του ηχητικού κύματος. Στην επιστήμη της ακουστικής τα decibel (dB) χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τη στάθμη ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level, SPL). Η SPL είναι ένα λογαριθμικό μέγεθος μέτρησης της ηχητικής πίεσης ενός δεδομένου ήχου προς μια ηχητική πίεση αναφοράς. Η στάθμη ηχητικής πίεσης δίνεται από τον τύπο:

$$L_p = 20 \log_{10}(p/p_0) \text{ dB}, \text{ όπου}$$

p : πίεση του αέρα (Pa)

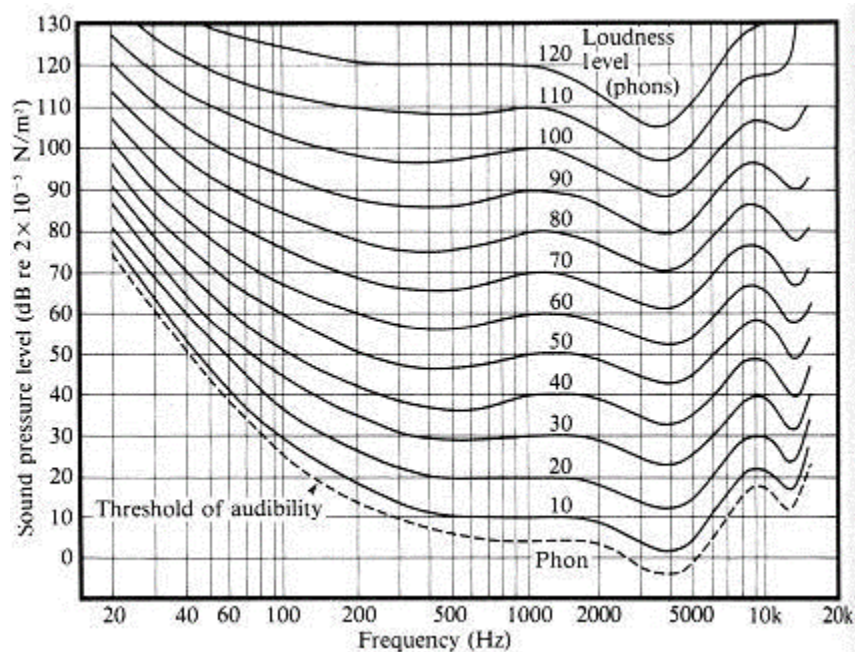
p_0 : πίεση αναφοράς ίση με $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Ήχος	Σχετική Ένταση	Decibel (dB)
Κατώφλι Ακουστότητας	1	0
Θρόισμα φύλλων	10	20
Ήσυχη γειτονιά	100	40
Ομιλία	1000	60
Υπόγειο μετρό	100000	100
Σειρήνα Ασθενοφόρου	1000000	120
Απογείωση Αεροπλάνου (Όριο πόνου)	10000000	140

Πίνακας 1: Σχετική ένταση και dB σε περιβαλλοντικούς θορύβους
(Brockmole and Goldstein, 2014)

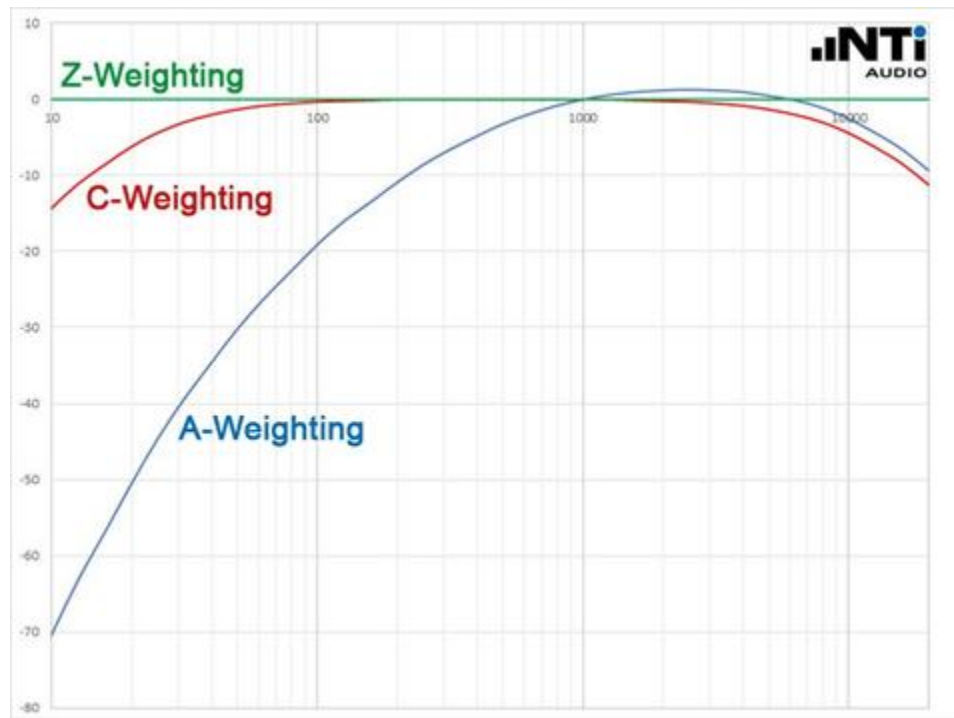
Το μέτρο αυτό από μόνο του όμως δεν αρκεί για να περιγράψει την αίσθηση της ακουστικής εντύπωσης ενός ήχου όπως τη βιώνει ο άνθρωπος. Η στάθμη ακουστότητας (Loudness Level, LL) είναι ο όρος ο οποίος περιγράφει το αίσθημα του ήχου όπως το αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα. Παρότι ο άνθρωπος μπορεί να ακούσει ήχους συχνοτήτων 20 Hz έως και 20000 Hz δεν έχει την ίδια ευαισθησία σε κάθε εύρος συχνοτήτων. Για παράδειγμα, ένας ήχος 70 dB και συχνότητας 1000 Hz ακούγεται το ίδιο δυνατά με έναν ήχο 100 dB και συχνότητας 50 Hz. Έτσι προκύπτει πως η στάθμη ακουστότητας δεν ταυτίζεται με την στάθμη της ακουστικής πίεσης. Το 1926 ο Barkhausen όρισε το phon ως μονάδα μέτρησης της στάθμης ακουστότητας. Η κλίμακα LL σε μονάδες phon ταυτίζεται αριθμητικά με την κλίμακα έντασης σε dB μόνο σε συγκεκριμένη συχνότητα αναφοράς, τη συχνότητα

των 1000 Hz. Για όλες τις άλλες συχνότητες η μετάβαση από την κλίμακα της στάθμης ακουστότητας στην κλίμακα της στάθμης έντασης γίνεται με τη βοήθεια του διαγράμματος των ισοακουστικών καμπυλών που δημιούργησαν οι Fletcher και Munson ('Bell System Technical Journal - October 1933 - Fletcher - Loudness Its Definition Measurement and Calculation.pdf'; Thumann).



Εικόνα 3: Ισοακουστικές Καμπύλες

Για να μπορέσουμε λοιπόν να μετρήσουμε τον θόρυβο σε αντιστοιχία με τα επίπεδα που ακούει ο άνθρωπος χρησιμοποιείται η A Σταθμισμένη κλίμακα. Πρόκειται για στάθμιση με βάση τη συχνότητα που εφαρμόζεται στην τιμή της SPL, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην ακουστότητα που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Αυτή η διορθωμένη τιμή συμβολίζεται με dBA και είναι η πιο κοινή μονάδα μέτρησης SPL. Πέρα από την A Στάθμιση, εγκεκριμένα όργανα μέτρησης της έντασης παρέχουν μέτρηση με C Στάθμιση και Z Στάθμιση, η οποία αντιπροσωπεύει την απουσία στάθμισης. Στην Εικόνα 4 και Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι κλίμακες συγκριτικά.



Εικόνα 4: Καμπύλες A, C, Z Σταθμισμένης Ηχοστάθμης

(<https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/frequency-weightings-for-sound-level-measurements>)

Συχνότητα [Hz]	A-Στάθμιση	C-Σταθμηση	Z-Στάθμιση
8	-77.8	-17.7	0
16	-56.7	-8.5	0
31.5	-39.4	-3.0	0
63	-26.2	-0.8	0
125	-16.1	-0.2	0
250	-8.6	0	0
500	-3.2	0	0
1000	0	0	0
2000	1.2	-0.2	0
4000	1	-0.8	0
8000	-1.1	-3.0	0
16000	-6.6	-8.5	0

Πίνακας 2: Συντελεστής προσαρμογής ηχοστάθμης ανά οκτάβα με βάση IEC61672:2014

Τέλος, επειδή μια μέτρηση dBA SPL δεν αρκεί για να περιγράψει το θόρυβο συναρτήσει του χρόνου χρησιμοποιούνται και κάποια στατιστικά μέτρα με πιο γνωστό τον χρονικά σταθμισμένο μέσο όρο της έκθεσης (Equivalent Continuous Sound Level, Leq) ο οποίος περιγράφεται από τη σχέση:

$$Leq = 10 \log[1/T \int_0^T (p/p_0)^2 dt], \text{ όπου}$$

T: διάρκεια

p: πίεση του αέρα (Pa)

p₀: πίεση αναφοράς ίση με $2 * 10^{-5}$ Pa

Σύμφωνα με τις οδηγίες του Π.Ο.Υ (Guidelines for community noise (who.int)) προτείνεται η χρήση του LAeq,T (Leq με A-Weighting) για τη μέτρηση συνεχών περιβαλλοντικών θορύβων και LAmax ή SEL όταν ο θόρυβος αποτελείται από μικρό αριθμό διακριτών συμβάντων.

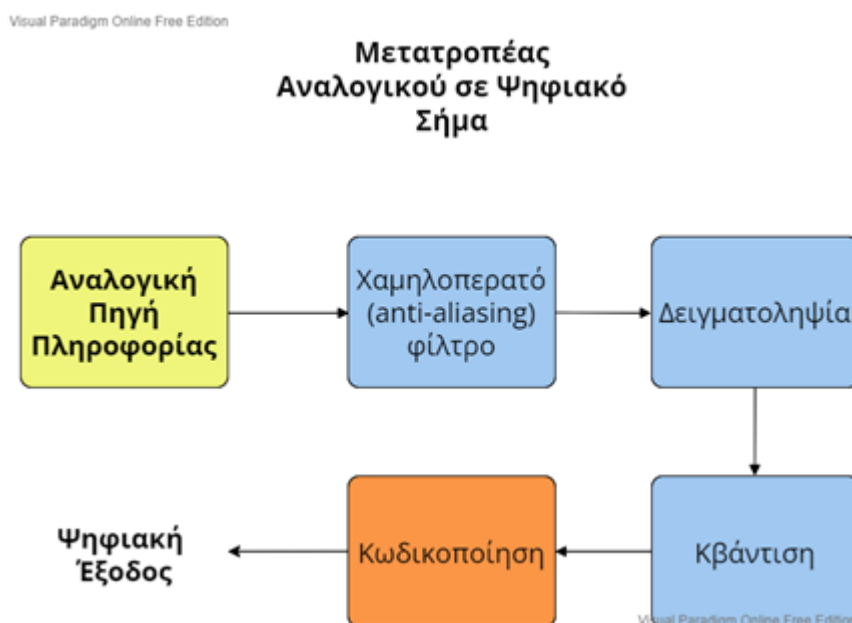
2.4 Αναλογικό και Ψηφιακό Σήμα

2.4.1 Σήμα

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα η ανταλλαγή της πληροφορίας πραγματοποιείται με την εκπομπή και λήψη σημάτων. Γενικά ως σήμα ορίζεται κάθε μετρήσιμη μεταβολή μιας ποσότητας ενός φυσικού φαινομένου, όπως είναι η φωτεινότητα ή η ακουστική πίεση, η οποία περιέχει πληροφορία γύρω από τη συμπεριφορά και την εξέλιξη του φαινομένου αυτού στο χρόνο (Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, 2016). Τα σήματα μπορούν να διακριθούν σε αναλογικά ή συνεχούς χρόνου, αν έχουν τη δυνατότητα να οριστούν κάθε χρονική στιγμή, και σε ψηφιακά ή διακριτού χρόνου, αν μπορούν να οριστούν μόνο σε συγκεκριμένες-διακριτές χρονικές στιγμές, παίρνοντας πεπερασμένο αριθμό τιμών (Φ. Κωνσταντίνου, Χ. Καψάλης, 1995)

2.4.2 Κατασκευή Ψηφιακού σήματος από αναλογικό

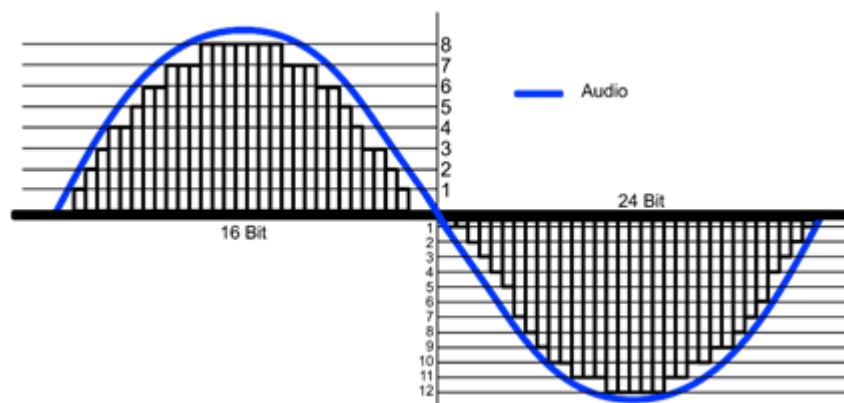
Ένα ηχητικό κύμα μπορεί και αυτό να θεωρηθεί ως ένα αναλογικό σήμα που μεταβάλλεται με τη πάροδο του χρόνου. Για να μπορέσει ένα αναλογικό σήμα να χρησιμοποιηθεί από ψηφιακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι απαραίτητο να μετατραπεί σε ψηφιακό. Η μετατροπή αυτή γίνεται από έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog-to-digital converter, ADC). Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι βασικές αρχές που διέπουν τη διαδικασία αυτή, η δειγματοληψία, η κβάντιση και η κωδικοποίηση.



Εικόνα 5: Διάγραμμα Συστήματος

Η δειγματοληψία (sampling) είναι η διαδικασία μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε σήμα διακριτού χρόνου, δηλαδή σε μια ακολουθία τιμών πλάτους, και πραγματοποιείται από τον δειγματολήπτη (sampler). Ο αριθμός των δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο που λαμβάνονται από το αναλογικό σήμα ονομάζεται ρυθμός/συχνότητα δειγματοληψίας (sampling rate) και μετριέται σε samples/sec, όπου samples είναι οι τιμές που λήφθηκαν. Η θεωρητική βάση της δειγματοληψίας είναι το Θεώρημα ή Συνθήκη Δειγματοληψίας του Nyquist/Shannon, όπου αναφέρεται πως η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που εμφανίζεται στο σήμα

πληροφορίας. Η συχνότητα του δείγματος σε συνδυασμό με το χαμηλοπερατό φίλτρο (anti-aliasing) που είναι υπεύθυνο για τον περιορισμό του φάσματος του αναλογικού σήματος, ικανοποιούν τη συνθήκη Nyquist/Shannon. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος δεν ξεπερνά τα 20 kHz επομένως οι συχνότητες άνω των 40 kHz ικανοποιούν τη συνθήκη αυτή. Η πιο κοινή συχνότητα δειγματοληψίας είναι τα 44,100 Hz που χρησιμοποιούνταν εξ αρχής στα CD. Στο στάδιο της κβάντισης (Quantization) ο κβαντιστής (quantizer) μετατρέπει τα δείγματα (τιμές) της εξόδου του δειγματολήπτη σε ακολουθία διακριτών τιμών, οι οποίες ανήκουν σε ένα πεπερασμένο σύνολο επιπέδων πλάτους (Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, 2016).



Εικόνα 6: Ηχητικό βάθος 16 και 24 bit

(<https://www.masteringthemix.com/blogs/learn/113159685-sample-rates-and-bit-depth-in-a-nutshell>)

Όλες οι παραπάνω λειτουργίες αποτελούν μέρη του συστήματος που ονομάζεται παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM). Το PCM και οι παραλλαγές του αποτελεί το πιο δημοφιλές πρότυπο για την κωδικοποίηση ηχητικών σημάτων και χρησιμοποιήθηκε επίσης στο παρελθόν στα CD. Στην κωδικοποίηση με PCM η έννοια του ηχητικού βάθους (audio bit depth) χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που περιγράφουν τις διακριτές τιμές που λαμβάνονται από τον κβαντιστή.

2.4.3 Μετασχηματισμός Fourier

Υποθέτοντας πως η Εικόνα 6 αναπαριστά τη κυματομορφή ενός ηχητικού κύματος, βλέπουμε το πλάτος του ήχου συναρτήσει του χρόνου. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε το ηχητικό σήμα μένει να βρεθεί το εύρος συχνοτήτων του συγκεκριμένου αποσπάσματος, η πληροφορία αυτή δε μας δίνεται από κάποιο όργανο, επομένως πρέπει να υπολογιστεί. Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένας μαθηματικός μετασχηματισμός που μας επιτρέπει να μεταβούμε από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier μας επιτρέπει να κάνουμε το ανάποδο, δηλαδή να μεταβούμε από το πεδίο των συχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου (Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, 2016). Για τα ψηφιακά σήματα έχουμε τον Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform, DFT) που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i \frac{2\pi}{N} kn}, k = 0, 1, \dots, N-1$$

Εικόνα 7: Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier όπου x_n η τιμή του n -οστού δείγματος από τα N συνολικά δείγματα

2.5 Πληθοπορισμός

2.5.1 Ορισμοί

Η αρχική επινόηση του όρου Πληθοπορισμός (Crowdsourcing) πιστώνεται στον Jeff Howe το 2005 σε μια προσπάθεια να περιγράψει πώς το ίντερνετ βοηθά επιχειρήσεις στην αντικατάσταση επαγγελματιών με ερασιτέχνες. Ετυμολογικά η λέξη είναι σύνθετη και προέρχεται από τη σύμπτυξη των λέξεων πλήθος (crowd) και της εξωτερικής ανάθεσης (outsourcing). Από τους ορισμούς που έδωσε ο Howe:

Πληθοπορισμός είναι η πράξη στην οποία μεταβαίνει μια επιχείρηση ή ένας φορέας στην οποία παίρνει μια εργασία η οποία άλλοτε γινόταν από επαγγελματίες ή εργαζομένους και

την αναθέτει σε ένα εξωτερικό δίκτυο ανθρώπων, απροσδιόριστου μεγέθους με τη μορφή ανοιχτής πρόσκλησης (Jeff Howe, 2008, 2011).

Παρότι η προσαρμοστικότητα του πληθοπορισμού έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει αποτελεσματική και ισχυρή πρακτική, η ίδια προκαλεί και μια δυσκολία στο προσδιορισμό και τη κατηγοριοποίηση του. Χαρακτηριστικά, ανάλογα τον ορισμό που δίνεται κατά καιρούς κάποιες πρωτοβουλίες θεωρούνται ως πληθοπορισμοί, ενώ άλλες όχι. Για παράδειγμα, από κάποιους οι σελίδες των Wikipedia και Youtube (Huberman B.A., Romero D.M., 2009) θεωρούνται ως δείγματα πληθοπορισμού, ενώ από άλλους όχι (Kleeman F., Voss G.G, 2008). Στην προσπάθεια δημιουργίας ενός διεξοδικού και παγκόσμιου ορισμού του πληθοπορισμού οι Estelles-Arolas και Gonzalez-Ladron de Guevara (Estellés and González, 2012) έδωσαν τον εξής ορισμός:

Ο πληθοπορισμός είναι μία μορφή συλλογικής δραστηριότητας μέσω του διαδικτύου στην οποία ένα άτομο, ένα ίδρυμα, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ή μία εταιρεία προτείνει σε μία ομάδα ατόμων με ποικίλες γνώσεις, ετερογένεια και αριθμό, μέσω μιας ανοιχτής πρόσκλησης, να αναλάβουν εθελοντικά μια εργασία. Η ανάληψη της εργασίας, η οποία ποικίλλει σε πολυπλοκότητα και στο βαθμό στον οποίο είναι χωρισμένη και στην οποία το πλήθος πρέπει να συμμετάσχει με προσωπική εργασία, χρήματα, γνώση, εμπειρία, περιλαμβάνει πάντοτε αμοιβαίο όφελος και για τις δύο πλευρές. Οι χρήστες που συμμετέχουν λαμβάνουν την ικανοποίηση κάποιας ανάγκης τους, είτε αυτή είναι οικονομική, είτε κοινωνική αναγνώριση, προσωπική ικανοποίηση, ανάπτυξη ατομικών ικανοτήτων σε κάποιο τομέα, ενώ ο υποκινητής της πρωτοβουλίας (πληθοποριστής) αποκτά και χρησιμοποιεί προς όφελός του, αυτά που έχει συνεισφέρει ο χρήστης στο εγχείρημα, τα οποία εξαρτώνται από τη δραστηριότητα που έχει αναλάβει ο χρήστης.

Με βάση τον παραπάνω ορισμό πρέπει να πληρούνται οι εξής προδιαγραφές για να προσδιοριστεί ένα έργο στο φάσμα του πληθοπορισμού:

- Να υπάρχει ένα σαφώς καθορισμένο πλήθος

- Να υπάρχει εργασία με ξεκάθαρο στόχο
- Η ανταμοιβή του χρήστη να είναι ξεκάθαρη
- Ο υποκινητής της πρωτοβουλίας να ορίζεται με σαφήνεια
- Οι απολαβές του υποκινητή να είναι σαφώς καθορισμένες
- Να είναι διαδικτυακή διαδικασία συμμετοχικού τύπου
- Να κάνει ανοιχτή πρόσκληση μεταβλητής έκτασης
- Να αξιοποιεί το διαδίκτυο

2.5.2 Μοντέλα

Σύμφωνα με τον Howe ο πληθοπορισμός δεν αποτελείται από μια μόνο στρατηγική. Πρόκειται για έναν γενικό όρο που συμπεριλαμβάνει μια πληθώρα διαφορετικών προσεγγίσεων, οι οποίες μοιράζονται ένα κοινό χαρακτηριστικό, την συμβολή του κοινού. Ανάλογα με τον τελικό στόχο του υποκινητή παρουσιάζονται ορισμένα μοντέλα που αξιοποιούν συγκεκριμένα στοιχεία του πλήθους (Jeff Howe, 2008).

- **Συλλογική Ευφυΐα** (Crowd Wisdom): Μια βασική αρχή που διέπει το πληθοπορισμό είναι πως οι ομάδες περιέχουν περισσότερη γνώση από μεμονωμένα άτομα. Η ουσία βρίσκεται στις συνθήκες υπό τις οποίες εκφράζουν τη γνώση.
- **Συλλογική Δημιουργία** (Crowd Creation): Βασίζεται στην αρχή πως το κοινό κατέχει μεγάλο βαθμό δημιουργικής ενέργειας.
- **Συλλογική Ψηφοφορία** (Crowd Voting): Βασίζεται στην κρίση του κοινού για την οργάνωση μεγάλων όγκων πληροφορίας.
- **Συγκέντρωση Χρημάτων** (Crowdfunding): Βασίζεται στην οικονομική συμβολή του κοινού δηλαδή τη χρηματοδότηση από αυτό, αντικαθιστώντας τράπεζες ή άλλα ιδρύματα ως οικονομική πηγή.

Αξίζει να αναφερθεί πως για ένα επιτυχημένο έργο που βασίζεται στο πληθοπορισμό συχνά επιστρατεύεται συνδυασμός των παραπάνω, αν όχι όλα.

2.5.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η έρευνα πάνω στο πληθοπορισμό, από τα πρώιμα στάδια ανάπτυξής του, εξελίσσεται παράλληλα με τη χρήση του. Έχει νόημα να αναφέρουμε ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχουν παρουσιαστεί με τη χρήση του (Ζαφειροπούλου, 2018).

Πλεονεκτήματα:

- Εύκολη και γρήγορη μετάδοση προβλήματος/εργασίας μέσω του διαδικτύου και μέσω κοινωνικής δικτύωσης
- Ανάληψη εργασίας με χαμηλό έως μηδαμινό κόστος παραγωγής
- Συντονισμός μεγάλου αριθμού ατόμων μέσω διαδικτύου και μέσω κοινωνικής δικτύωσης
- Ποικίλες γνώσεις και ιδέες του πλήθους λόγω ετερογένειας
- Διεκπεραίωση εργασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα
- Χωρίς αμειβόμενη εργασία
- Αξιοποίηση πόρων που ο πληθοποριστής δεν κατείχε
- Προσωπική ικανοποίηση και ενίσχυση αυτοεκτίμησης του συμμετέχοντος
- Κοινωνική αναγνώριση των συμμετεχόντων
- Απόκτηση και ανάπτυξη ικανοτήτων σε κάποιο τομέα

Μειονεκτήματα:

- Ανατίθεται σε πλήθος ατόμων που δεν διευκρινίζεται πλήρως
- Υπάρχει πιθανότητα μη ανταπόκρισης από το κοινό
- Κάποιες φορές συνδυάζεται με κακή ποιότητα εργασίας
- Ανησυχία από επαγγελματίες για επιπλοκές κατά την εργασία
- Αύξηση του ανταγωνισμού προς του επαγγελματίες
- Απώλεια εισοδήματος για τους επαγγελματίες
- Έλλειψη δέσμευσης των συμμετεχόντων

Αναγνωρίζοντας τα παραπάνω είναι κατανοητό πως η μελέτη με τη μέθοδο του πληθοπορισμού έχει πολλά να προσφέρει, αλλά θα πρέπει η χρήση του να γίνεται με προσοχή. Ο πληθοπορισμός αναδύεται ως μια ικανοποιητική πρακτική για την άντληση νέων ιδεών και την επίλυση απλών καθηκόντων από το κοινό (Ghezzi, Gabelloni, *et al.*, 2017). Παράλληλα με την αύξηση της πρακτικής αυτής από οργανισμούς και φορείς, παρατηρείται και πολύ μεγάλη αύξηση από μελετητές (Vukovic, 2009; Man-Ching Yuen, Irwin King, 2011; Tiare-Maria Brasseur a,b, Marion Poetz a,b, 2022). Σήμερα, συναντάμε τον πληθοπορισμό κυρίως στο διαδίκτυο αφού το τελευταίο παρέχει μια εύκολη, ταχύτατη και ασύγχρονη επικοινωνία. Επιπλέον, εξαιτίας της ανωνυμίας που προσφέρουν το διαδίκτυο και οι κινητές εφαρμογές, το κοινό είναι περισσότερο ανοιχτό στη χρήση web και mobile based εφαρμογών (Christin, Reinhardt, *et al.*, 2011).

2.6 Τεχνολογία Ανάπτυξης Λογισμικού

2.6.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things, IoT) θεωρείται ένα αναπόσπαστο κομμάτι των έξυπνων πόλεων (Caitlin Cottrill, Naomi Jacobs, Milan Markovic, 2020). Το IoT ορίζεται από Patel & Patel ως (Patel, K. K., & Patel, 2016):

Ένα δίκτυο φυσικών πραγμάτων, που αλληλεπιδρούν και συνεργάζονται μεταξύ τους μέσω ενσύρματης και ασύρματης επικοινωνίας για να δημιουργήσουν νέες εφαρμογές και υπηρεσίες.

Συσκευές όλων των ειδών, όπως οχήματα, έξυπνα τηλέφωνα (smartphone), οικιακές συσκευές, κάμερες μπορούν να επικοινωνήσουν, να μοιραστούν πληροφορίες και να κάνουν την διαχείριση ενέργειας, τη μεταφορά, τις πόλεις και πολλά άλλα πιο έξυπνα.

2.6.2 Έξυπνες Πόλεις

Η έξυπνη πόλη ορίζεται από τον Weber ως (Weber M., 2017):

Ένα σύστημα διασυνδεδεμένων έξυπνων συστημάτων με σκοπό να εκφράσουν τις πλήρεις δυνατότητες της Τεχνολογίας της Πληροφορίας, ΤΠΕ (Information Communication Technology, ICT) και ειδικότερα του IoT.

Οι έξυπνες πόλεις με τη χρήση του IoT αποσκοπούν στη βελτίωση του επιπέδου ζωής των πολιτών με διάφορους τρόπους, δημιουργώντας έξυπνες λύσεις που συμβάλλουν στην επίτευξη βιώσιμων, οικολογικών και υγιών πόλεων (Kamel Boulos, M. N., Al-Shorbaji, 2014).

Μια έξυπνη πόλη μπορεί να οριστεί και ως (Du, R., Member, S., Santi et al, 2019a):

Μια αστική περιοχή που αξιοποιεί τις πληροφορίες που συλλέγονται από διάφορους αισθητήρες (sensors) και συσκευές για να παρακολουθήσει και να διαχειριστεί τις υποδομές και τους πόρους της αποδοτικά.

Οι πόλεις μπορούν να ερμηνευθούν και ως κυβερνο-φυσικά συστήματα (cyber physical system, CPS) όπου η φυσική κατάσταση της πόλης ελέγχεται διαρκώς από κυβερνοστοιχεία, όπως αισθητήρες και επεξεργαστές (Puliafito, A., Tricomi, G. et al, 2021). Έξυπνα συστήματα παρακολούθησης πρέπει να παρέχουν καλύτερη σύνδεση των πολιτών και των υπηρεσιών. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί δίνοντας τη δυνατότητα στους πολίτες να συμμετέχουν στη παρακολούθηση και παρέχοντάς τους ανοιχτή πρόσβαση σε πληροφορίες, πολιτικές και κυβερνήσεις (Du, R., Member, S., Santi et al, 2019b). Για μια αποδοτικότερη διαχείριση των πόλεων χρειάζεται ζωντανή παρακολούθηση των παραμέτρων που εξετάζει. Οι διαδικασίες συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος και προσπάθεια. Επομένως, δημιουργείται η ανάγκη μεθόδων και πρακτικών συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενσωματώνοντας έξυπνες τεχνολογίες. Οι υποδομές του IoT, που περιλαμβάνουν επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων, μπορούν να ενισχύσουν τη διαδικασία αυτή συλλέγοντας και αξιολογώντας τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, εξάγοντας πληροφορία και μετατρέποντάς την σε χρήσιμη (Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S., 2014).

2.6.3 Συμμετοχική Παρακολούθηση

Τελευταία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο η έννοια της συμμετοχικής παρακολούθησης. Η συγκεκριμένη προκύπτει από την ιδέα της εξωτερικής ανάθεσης του έργου της παρακολούθησης σε κοινό. Αντί για εγκατεστημένους αισθητήρες, υπάρχουν άνθρωποι που λειτουργούν ως αισθητήρες, συλλέγοντας και μοιράζοντας τα δεδομένα (Burke, J., Estrin, D. et al, 2006). Στα πλαίσια αυτά, με τον όρο συμμετοχική παρακολούθηση γίνεται αναφορά στην ανάθεση κινητών συσκευών για τον σχηματισμό διαδραστικών και συμμετοχικών δικτύων παρακολούθησης. Αυτή η μορφή παρακολούθησης, που αλλιώς αναφέρεται και ως πληθοπορισμός με τη χρήση κινητού (mobile crowdsourcing), επιτρέπει ταυτόχρονα σε επαγγελματίες και σε κοινό να συλλέξουν, να αναλύσουν και να ανταλλάξουν δεδομένα σχετικά με τους ανθρώπους και το περιβάλλον, αξιοποιώντας ενσωματωμένους αισθητήρες και εφαρμογές σε έξυπνες κινητές συσκευές (Truong, N. B., Lee, G. M., Um, T. W., MacKay, 2019). Ο πληθοπορισμός με τη χρήση κινητών αξιοποιεί κατακεκομμένες IoT συσκευές για να συλλέξει και να εξάγει χρήσιμη πληροφορία. Συμπεριλαμβάνοντας τους πολίτες στη διαδικασία παρακολούθησης, η συμμετοχική παρακολούθηση εισάγει μια καινοτόμα μορφή επέκτασης των IoT υπηρεσιών (Wibisono, W., Ahmad, 2017).



Εικόνα 8: Οπτικοποίηση εφαρμογών συμμετοχικής παρακολούθησης

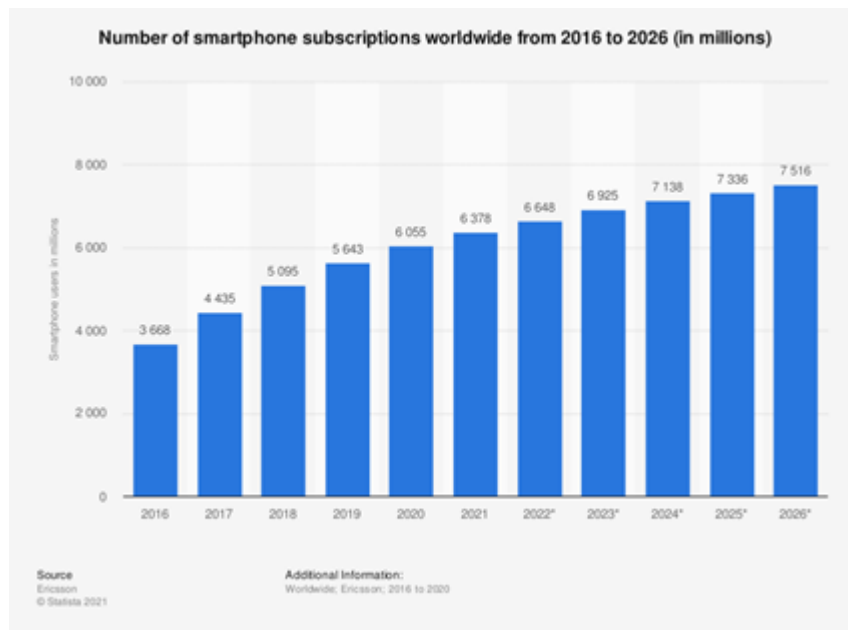
(van den Boogert, 2022)

Τα έξυπνα τηλέφωνα σήμερα έρχονται με πληθώρα διαφορετικών αισθητήρων όπως GPS, κάμερα, επιταχυνσιόμετρο, μικρόφωνο. Οι παραπάνω αισθητήρες μπορούν να παρέχουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε οποιοδήποτε μέρος σε μια πόλη. Η συμμετοχική παρακολούθηση έχει τεράστια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υποδομές στατικών αισθητήρων. Εφόσον αξιοποιούνται ήδη υπάρχοντες αισθητήρες, τα κόστη εγκατάστασης

και η συντήρησης είναι χαμηλά. Το εύρος κάλυψης του δικτύου παρακολούθησης είναι αρκετά υψηλό, αφού χρησιμοποιούνται οι συσκευές των χρηστών. Επιπλέον, οι απόψεις και οι ενέργειες των χρηστών μπορούν να συμπληρώσουν τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από στατικές υποδομές (M, J.P, *et al.*, 2016).

2.6.4 Κινητές Συσκευές

Στη σημερινή ψηφιακή εποχή, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει κάθε επιχείρηση εξαρτημένη από κινητές εφαρμογές. Οι κινητές συσκευές έχουν εδραιωθεί ως ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων. Παρότι ο αρχικός σκοπός των κινητών τηλεφώνων ήταν η τηλεφωνία σήμερα το τοπίο έχει αλλάξει κατά πολύ. Τα κινητά τηλέφωνα δεν περιορίζονται πλέον σε τηλεφωνικές κλήσεις και ανταλλαγή μηνυμάτων, αλλά χρησιμοποιούνται για να καλύψουν μια πληθώρα καθημερινών αναγκών. Ο αριθμός των χρηστών smartphone, ο οποίος συνεχώς αυξάνεται, έφτασε τους 6.378 εκατομμύρια το 2021.

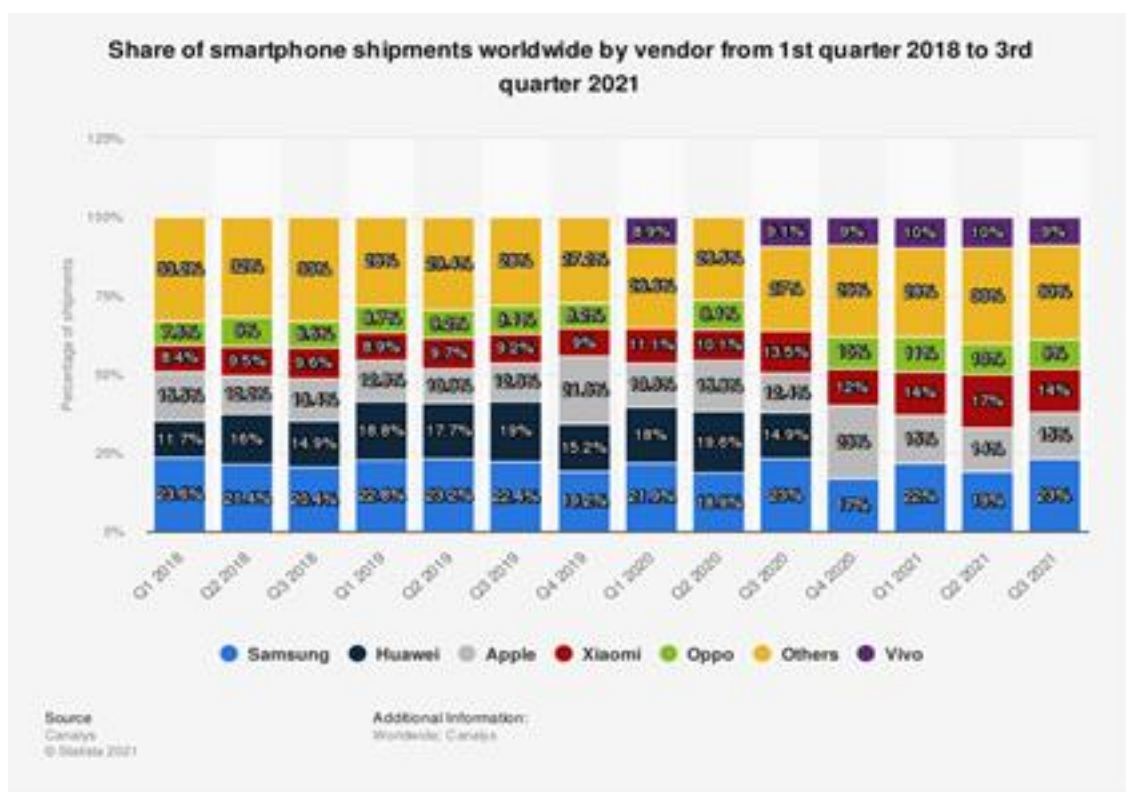


Εικόνα 9: Αριθμός χρηστών smartphone σε εκατομμύρια

(Ο'Dea, 2022)

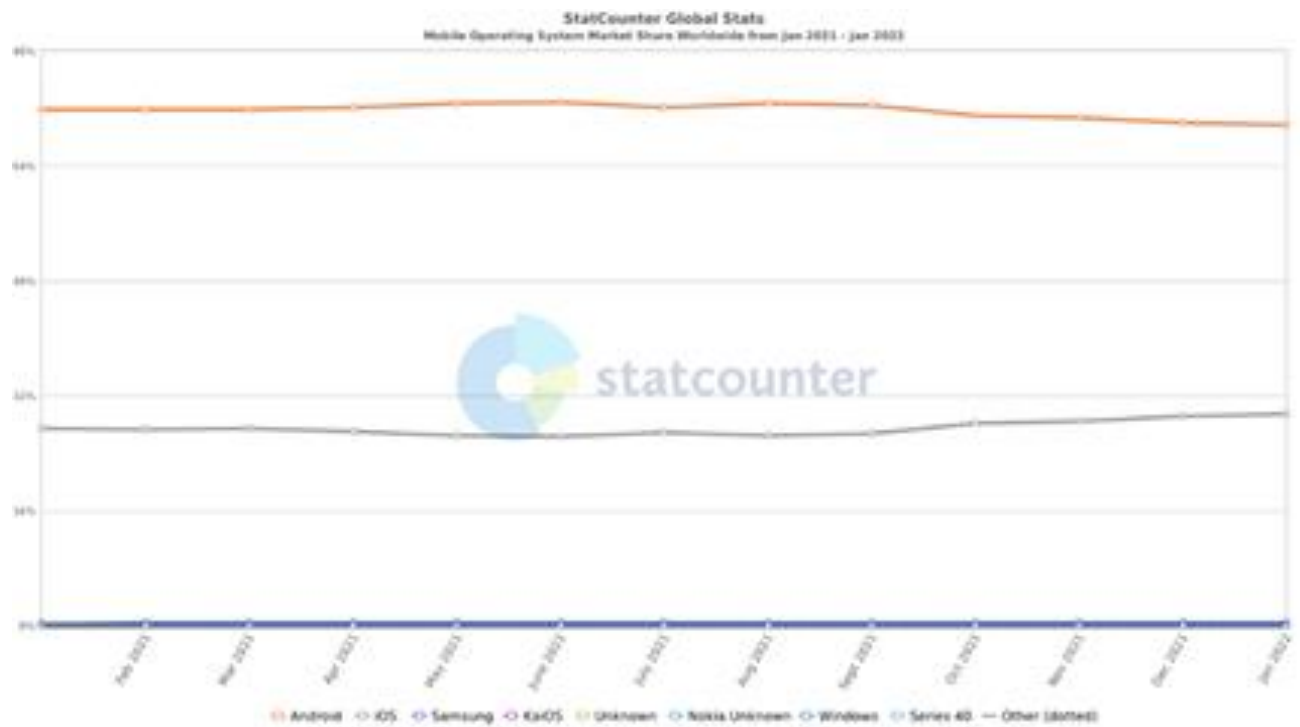
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9 οι χρήστες κινητών τηλεφώνων προβλέπεται να συνεχίζει να αυξάνεται. Στη συνέχεια, στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η κατανομή του μεριδίου αγοράς ανάλογα με την εταιρεία. Η επικρατούσα εταιρεία στην αγορά αυτή τη στιγμή είναι η Samsung, με την Apple και την Xiaomi να ακολουθούν.

Τα smartphone κάθε εταιρείας λειτουργούν χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο λογισμικό. Το λογισμικό αυτό ονομάζεται Λειτουργικό Σύστημα Κινητού (Mobile Operating System, OS) και είναι υπεύθυνο για τη βασική λειτουργία του. Το Android OS της Google και το iOS της Apple είναι τα δύο πιο κοινά λειτουργικά συστήματα κινητών, με μεγάλη διαφορά, και μαζί κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς.



Εικόνα 10: Κατανομή παράδοσης smartphone παγκοσμίως

(Ο'Dea, 2021)



Εικόνα 11: Κατανομή παγκόσμιας αγοράς για mobile OS με Android-69.71% και iOS-29.51%

(‘Mobile Operating System Market Share Worldwide Feb 2021 - Feb 2022’, 2022)

2.6.5 Πλατφόρμα Android

Το Android OS είναι ένα λειτουργικό σύστημα για κινητές συσκευές βασισμένο σε μια τροποποιημένη έκδοση του πυρήνα Linux και άλλων ανοικτών λογισμικών. Ο βασικός σχεδιασμός του αφορά τη χρήση σε κινητές συσκευές με οθόνη αφής, όπως smartphone ή tablet. Η ανάπτυξή του γίνεται από μια κοινοπραξία προγραμματιστών της Open Handset Alliance και υποστηρίζεται εμπορικά από τη Google. Το μεγαλύτερο μέρος του κώδικα του Android έχει δημοσιευτεί από τη Google υπό τους όρους της Apache License, μιας ελεύθερης άδειας λογισμικού. Αυτό έχει ενθαρρύνει ένα μεγάλο μέρος του κοινού να δημιουργήσουν μια εκτενή κοινότητα από λάτρεις και προγραμματιστές που συνεχώς εξελίσσουν τη πλατφόρμα. Η τελευταία έκδοση είναι το Android 12 και κυκλοφόρησε στις 4 Οκτωβρίου, 2021.



Εικόνα 12: Android robot

(<https://developer.android.com/about/versions/12>).

Σύμφωνα με τη Google, οι εφαρμογές για Android μπορούν να γραφτούν σε γλώσσες Kotlin, Java και C++ χρησιμοποιώντας το Κιτ Ανάπτυξης Λογισμικού (Software Development Kit, SDK) για Android, ενώ είναι δυνατή και η χρήση άλλων γλωσσών. Το Android Studio (<https://developer.android.com/studio>) είναι το επίσημο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment, IDE) για Android βασισμένο στο λογισμικό της JetBrains' IntelliJ IDEA και έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για την ανάπτυξη εφαρμογών σε

Android περιβάλλον (<https://android-developers.googleblog.com/2013/05/android-studio-ide-built-for-android.html>).

2.7 Σχετική Βιβλιογραφία

Παραδοσιακά, η μέτρηση του περιβαλλοντικού θορύβου πραγματοποιείται από επαγγελματίες οι οποίοι μετρούν και αναλύουν δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από πιστοποιημένα όργανα και αισθητήρες (Basten and Wessels, 2014). Οι μετρήσεις γίνονται συγκεκριμένες ώρες της ημέρας σε προκαθορισμένα σημεία, εξαιτίας του κόστους που εμπεριέχεται στη χρήση και μετακίνηση του εξοπλισμού. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα δεδομένα συλλέγονται τυπικά για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έτσι αποτυπώνουν μια πιο στατική εικόνα του χώρου και του χρόνου. Με την ταχύτατη αύξηση των χρηστών smartphone και δεδομένης της βελτίωσης των μετρήσεων από αυτά καθίσταται εφικτή η δημιουργία ενός πυκνού δικτύου παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Μάλιστα αυτό έχει ξεκινήσει να εμφανίζεται όλο και περισσότερο αν λάβουμε υπόψη το πλήθος της σχετικής βιβλιογραφίας (EllieD'Hondt MatthiasStevens and Jacobs, 2013; Gwenaël Guillaume, Arnaud Can et al, 2016).

2.7.1 NoiseTube

Ιστορικά αξίζει να γίνει αναφορά στην εφαρμογή NoiseTube που δημοσιεύτηκε το 2009 από Maisonneuve, Stevens, Niessen και Steels. Από τις πρώτες εφαρμογές ανοιχτού λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της ηχορύπανσης εμπλέκοντας το κοινό και αποτελώντας βάση για πολλές επόμενες. Στόχος ήταν η αξιοποίηση κινητών τηλεφώνων με gps, ως αισθητήρες θορύβου, που θα μπορούσαν οι χρήστες να μετρήσουν τα επίπεδα θορύβου στη καθημερινότητά τους. Η εφαρμογή συλλέγει πληροφορίες από αισθητήρες του κινητού για τη μέτρηση του θορύβου, των συντεταγμένων και της ώρας και επιτρέπει τη περιγραφή του ήχου από τον χρήστη σε μορφή κειμένου. Στη συνέχεια τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα server όπου επεξεργάζονται και με την είσοδο του χρήστη στο site, μπορεί να δει τη συμβολή/έκθεσή του σε χάρτη Google Earth.



Εικόνα 13: : Χάρτης θορύβου NoiseTube

Για τον υπολογισμό του θορύβου, το NoiseTube επεξεργάζεται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο παίρνοντας μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο με sample και bit rate 22,500 Hz και 16-bit αντίστοιχα. Έπειτα εφαρμόζεται φίλτρο A-weighting υπολογίζοντας $(Leq)^2$ σε dBA. Επιπλέον στοιχεία ζητούνται από το χρήστη που αφορούν τη πηγή του θορύβου σε μορφή κειμένου, αλλά και Geo-tagging για να καλύψει την έλλειψη ακρίβειας του GPS. Τέλος, η βαθμονόμηση του κινητού έγινε ανά 5 dB από 30 dB έως 105 dB πετυχαίνοντας τελικό βαθμό ακρίβειας ± 4 dB (N, M, *et al.*, 2009).

2.7.2 NoiseCapture

Το NoiseCapture (Gwenaël Guillaume, Arnaud Can, Gwendall Petit, Nicolas Fortin, Sylvain Palominos, Benoit Gauvreau, Erwan Bocher, 2016) είναι μια εφαρμογή Android ανοιχτού λογισμικού που επιτρέπει στους χρήστες να μετρήσουν και να μοιραστούν τον περιβαλλοντικό θόρυβο γύρω τους. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή που εξετάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Ως μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος, της υποδομής χωρικών δεδομένων (Spatial Data Infrastructure, SDI) OnoM@p, η εφαρμογή στοχεύει στην ενίσχυση της συμμετοχικής παρακολούθησης για την αξιολόγηση των επιπέδων έκθεσης στο θόρυβο. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε εθελοντές με ή χωρίς

ειδικές γνώσεις που ανεβάζουν ανώνυμα τις μετρήσεις περιβαλλοντικού θορύβου που συλλέγουν από την εφαρμογή, μαζί με την γεωγραφική τοποθεσία τους. Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά επεξεργάζονται για τη δημιουργία χαρτών.



Εικόνα 14: Στιγμιότυπα από εφαρμογή NoiseCapture

(Judicaël Picaut, Nicolas Fortin, Erwan Bocher, Gwendall Petit, Pierre Aumond, 2019)

Οι ακουστικοί δείκτες της εφαρμογής μετρούν με συχνότητα δειγματοληψίας 44,100Hz ανά 125ms και με 16-bit ηχητικό βάθος σήματος. Ο υπολογισμός SPL γίνεται με LAeq, όπως ορίζεται από ΠΟΥ (Berglund, Lindvall, *et al.*, 1995). Η εφαρμογή προσφέρει έναν ελκυστικό για το χρήστη σχεδιασμό προσφέροντας πληθώρα μετρικών στην αρχική οθόνη [Εικόνα 14]. Ο χρήστης μπορεί επίσης να δει πληροφορίες για τη συχνότητα σε πραγματικό χρόνο, καθώς

και χάρτη υλοποιημένο με Leaflet (<https://leafletjs.com/>). Μετά από κάθε μέτρηση, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σημειώσει επιπλέον στοιχεία για τη μέτρηση που αποθηκεύεται τοπικά, όπως να βγάλει φωτογραφία, να κρατήσει σημειώσεις, να δώσει πληροφορίες σχετικά με τη μέτρηση από ένα προεπιλεγμένο εύρος επιλογών. Η συλλογή γίνεται με σεβασμό προς τα δεδομένα του χρήστη συλλέγοντας τα απαραίτητα μόνο στοιχεία.

2.7.3 Άλλες Υλοποιήσεις

Τα τελευταία χρόνια έχει υλοποιηθεί ένα μεγάλο εύρος κινητών εφαρμογών για την ακουστική μέτρηση του ήχου. Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μια αναφορά και σε άλλες υλοποιήσεις πέρα από αυτές που αναλύθηκαν πιο πάνω. Η εφαρμογή WideNoise φτιάχτηκε για να εξυπηρετεί χρήστες iPhone και Android. Η βασική της λειτουργία εστιάζει στην καταγραφή των επιπέδων θορύβου και την αποστολή των δεδομένων σε server για τη παραγωγή χαρτών. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να μοιραστούν τις μετρήσεις τους σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης (<https://github.com/WideTag/WideNoise-Android>). Οι πρωτότυπες εφαρμογές NoiseBattle (Marti, Rodriguez, *et al.*, 2012) και NoiseQuest (Irene Garcia-Martí, 2013) δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα στην προσέγγιση του κοινού. Στόχος είναι να δώσουν ένα μεγαλύτερο κίνητρο στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή. Για την καταγραφή των δεδομένων βασίζονται και οι δύο στην εφαρμογή NoiseDroid. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η εφαρμογή Hush City, η οποία δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση και χαρτογράφηση καθημερινών ήσυχων περιοχών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται μια πληθώρα πληροφοριών, ανάμεσά τους η ένταση του ήχου, φωτογραφίες, σχόλια χρηστών, ηχογραφήσεις, καιρικές συνθήκες, αριθμός ατόμων και άλλα στοιχεία (Antonella Radicchi, 2018). Στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται μερικές ακόμη εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί στο παρελθόν.

Year of release	Name of the app	Availability on the market	Available for iOS	Available for Android	Geo-located data collection features				Sequential data collection process	Open data
					Audio recorder	Noise meter	Camera	User feedback		
2008	Noise Tube	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
2009	WideNoise	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2010	NoiseDroid	No	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes
2010	NoiseSpy	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2010	noTours	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes
2011	The Quiet Walk	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2011	URBANREMIX	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
2011	NoiseWatch	No	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	Yes
2012	CITI-SENSE	No	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
2012	Noisemap	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	Yes
2012	I-SAY Sound Around You	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2013	Soundscape Characterization Tool	No	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2013	Ear-Phone	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No
2013	radio.aponee	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2013	stereopublic	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	Yes
2013	SoundOfTheCity	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes
2014	Carl-ASUR (linked to NoiseTube)	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
2014	Geluidenjager	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2014	Recho	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No
2014	Record the Earth	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2015	The Noise App	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2015	Sound City	No	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2016	Aircasting	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2015	Think About Sound	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2016	Ambiciti (new version of Sound City)	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2016	City Soundscape	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2016	MoSart	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2016	Audiospook	No	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2017	Hush City	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Εικόνα 15: Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη μέθοδο του πληθοπορισμού
(Antonella Radicchi, 2018)

3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική της εφαρμογής για smartphone, NoisePollutionApp και ο τρόπος σύνθεσής της. Σύμφωνα με όσα επισημαίνονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, το λογισμικό επιλογής είναι Android OS. Ο κώδικας συγγραφής είναι Java, μια από τις τρεις επίσημες γλώσσες προγραμματισμού Android, καθώς σε αυτή τη γλώσσα προγραμματισμού υπάρχει μεγαλύτερη οικειότητα τη περίοδο της συγγραφής. Επίσης, επιλέχθηκε το Android Studio ως IDE, όντας το επίσημο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης για Android. Το NoisePollutionApp δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να μετρήσει τα decibel και το μέσο όρο των τιμών αυτών σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να συμβάλλει στη περιβαλλοντική παρακολούθηση στέλνοντας τις μέσες τιμές decibel σε μια απομακρυσμένη βάση, συνοδευόμενη από ορισμένες προσωπικές πληροφορίες που συμπληρώνει ο ίδιος. Με σεβασμό στην ιδιωτικότητα του χρήστη, όλα τα στοιχεία που καταγράφονται είναι ανώνυμα.

The image displays two side-by-side screenshots of the NoisePollutionApp interface. Both screens have a purple header with the text 'NoisePollutionApp'. The left screenshot shows the 'Noise Recorder' screen with a light blue title bar. It displays 'Live Decibel Values' as 47.2 and 'Average Decibel Values' as 48.4. Below these are 'RECORD' and 'STOP' buttons, and an 'Advanced' toggle switch which is currently turned off. The right screenshot shows the same 'Noise Recorder' screen but with the 'Advanced' toggle switch turned on. This reveals additional form fields: 'Gender' with radio buttons for 'Male', 'Female', and 'Other' (selected), 'Noise Source' with a dropdown menu showing 'Anthropogenic', 'Natural', and 'Technological', 'Age' with a text input field containing '(e.g. 24, 51)', and 'User Perception' with a dropdown menu showing 'absolute silence'. An 'Upload' button is located at the bottom of the right screenshot.

Εικόνα 16: Κεντρική οθόνη NoisePollutionApp

Με γνώμονα την απλότητα, την ευκολία στη χρήση και τις ανάγκες της εφαρμογής έχει σχεδιαστεί μια κεντρική σελίδα με την οποία αλληλεπιδρά ο χρήστης [Εικόνα 16]. Η κατασκευή της εφαρμογής απαρτίζεται από τις κλάσεις των οποίων ακολουθεί η περιγραφή.

3.1 Recording.java

Η κλάση αυτή ορίζει το αντικείμενο Recording το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία που καταγράφονται και μπορούν, εάν το επιλέξει ο χρήστης, να σταλούν στη βάση. Τα στοιχεία που διατηρούνται μπορούν να διαχωριστούν ως προς τη πληροφορία που περιγράφουν.

Χαρακτηριστικά που σχετίζονται με μετρικές της ηχογράφησης είναι:

- **decibels:** χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος έκθεσης dB (Leq)
- **latitude:** γεωγραφικό πλάτος
- **longitude:** γεωγραφικό μήκος
- **date:** ημερομηνία
- **time:** χρονική στιγμή

Χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το χρήστη:

- **gender:** φύλο
- **age:** ηλικία

Χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αντίληψη του χρήστη πάνω στον ήχο:

- **anthropogenic:** κατά πόσο η πηγή θορύβου προέρχεται από ανθρωπογενή πηγή
- **natural:** κατά πόσο η πηγή θορύβου προέρχεται από φυσική πηγή
- **technological:** κατά πόσο η πηγή του θορύβου προέρχεται από τεχνολογική πηγή

- **perception:** η αντίληψη του χρήστη για την “ένταση” του ήχου

Αναφορικά με τις μετρήσεις που αφορούν την αντίληψη του χρήστη, έχει νόημα να αναφερθεί πως το άθροισμα των anthropogenic, natural και technological θα πρέπει να είναι δέκα, τρόπος με τον οποίο καταγράφεται η βαρύτητα της κάθε πηγής. Η τελευταία μετρική είναι ποιοτική, στο χρήστη δίνονται ορισμένες προκαθορισμένες επιλογές και διαλέγει μεταξύ “absolute silence” έως “extremely noisy” για να περιγράψει τον ήχο. Οι πληροφορίες αυτές λαμβάνονται ενδεικτικά με βάση χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντίληψη του κάθε ατόμου για τον ήχο και μπορούν να φανούν χρήσιμες για την εξαγωγή γνώσης (Fletcher and Munson, 1933; Carl E. Seashore, 1967).

3.2 NoisePollutionActivity.java

Η κλάση αυτή αντιπροσωπεύει το υψηλότερο επίπεδο της εφαρμογής αφού ασχολείται με την γραφική διεπαφή του χρήστη (User Interface, UI). Είναι υπεύθυνο για όποια αλλαγή πραγματοποιείται στη σελίδα με την οποία αλληλεπιδρά ο χρήστης. Η κλάση αυτή αποτελεί την σελίδα έναρξης και συνδέεται με το αρχείο *activity_main.xml* στο οποίο έχει γίνει ο σχεδιασμός της.

Η βασική δομή της σελίδας αποτελείται από τον τίτλο, τέσσερις σειρές κειμένου, δύο κουμπιά και ένα διακόπτη. Οι σειρές χωρίζονται ανά δύο, όπου οι μονές περιγράφουν τη τιμή που σημειώνεται στην από κάτω σειρά (*Live Decibel Values*, *Average Decibel Values*), κατέχοντας έτσι ρόλο τίτλου. Οι πρώτες δύο σειρές εμφανίζουν τα decibel όπως έχουν υπολογιστεί σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι επόμενες δύο εμφανίζουν τον σταθμισμένο μέσο των προηγούμενων, Leq. Τα δύο κουμπιά με τις ενδείξεις *RECORD* και *STOP* δίνουν τον έλεγχο της ηχογράφησης στο χρήστη. Μόλις ο χρήστης πατήσει *RECORD* ξεκινά η ηχογράφηση η οποία σταματά μόλις ο χρήστης πατήσει *STOP*, διαφορετικά ηχογραφεί για διάρκεια δέκα δευτερολέπτων σύνολο. Ο διακόπτης με την ένδειξη *Advanced* είναι

υπεύθυνος για την εμφάνιση των επιπρόσθετων στοιχείων και για τη δυνατότητα κοινοποίησης των δεδομένων.

Για τον διαμοιρασμό της πληροφορίας που συνέλεξε ο χρήστης θα πρέπει να συμπληρώσει και ορισμένα στοιχεία, αυτά που εμφανίζονται μόλις ενεργοποιήσει το διακόπτη *Advanced*. Ο χρήστης οφείλει να συμπληρώσει πληροφορίες για κάποια χαρακτηριστικά του και για τον ήχο που μόλις άκουσε. Τα προσωπικά στοιχεία αφορούν το φύλο και την ηλικία του χωρίς όμως να καταγράφεται κάποιο άλλο προσωπικό στοιχείο. Σχετικά με τον ήχο ζητείται από τον χρήστη να σημειώσει κατά πόσο ο θόρυβος εξαρτάται από ανθρωπογενή πηγή, από φυσική πηγή ή από τεχνολογική πηγή. Οι ανθρωπογενείς πηγές σχετίζονται με θορύβους που προκαλούνται από τον άνθρωπο, όπως η ομιλία. Οι φυσικές πηγές σχετίζονται με θορύβους που προκαλούνται από φυσικούς παράγοντες, όπως το κελάηδισμα ενός πουλιού ή ένας κεραυνός. Οι τεχνολογικές πηγές σχετίζονται με θορύβους από μηχανήματα και ηλεκτρονικές συσκευές. Ακόμη, ζητείται η αντίληψη του χρήστη σε μια ποιοτική κλίμακα για το πόσο θορυβώδης ή μη ήταν ο ήχος. Όσον αφορά το φύλο και την αντίληψη, πρόκειται για προκαθορισμένες τιμές από τις οποίες ο χρήστης κάνει μια επιλογή, αντίθετα στη περίπτωση της ηλικίας και του τύπου πηγής θορύβου ο χρήστης εισάγει αριθμητικές τιμές. Η ηλικία θα πρέπει να είναι αριθμός από το μηδέν έως το εκατό, ενώ οι τιμές που σημειώνονται για τον κάθε τύπο θορύβου θα πρέπει να έχουν άθροισμα δέκα. Τέλος, το κουμπί *Upload* αφορά την αποστολή όλων των από πάνω πληροφοριών στην βάση. Ο χρήστης μπορεί να ανεβάσει μόνο μια φορά ανά ηχογράφιση, για να αποφευχθούν περιπτώσεις spamming των ίδιων ηχογραφήσεων.

Στην κλάση αυτή εναποτίθεται και η ευθύνη εξασφάλισης των αναγκαίων αδειών για την ορθή λειτουργία της εφαρμογής. Οι άδειες που ζητούνται αφορούν την τοποθεσία, για τη καταγραφή του γεωγραφικού πλάτους και μήκους, την ηχογράφιση και τη πρόσβαση στο ίντερνετ για τη μεταφόρτωση των συλλεχθέντων πληροφοριών στη βάση. Η εφαρμογή ζητά τις απολύτως απαραίτητες άδειες μόνο τις στιγμές που τις χρειάζεται. Για παράδειγμα, η τοποθεσία θα ζητηθεί σε περίπτωση που η χρήστης προσπαθήσει να ανεβάσει τα δεδομένα, εφόσον αυτή η πληροφορία δεν καταγράφεται διαφορετικά. Σε γενικές γραμμές οι ευθύνες

της κλάσεις αυτής έχουν περιοριστεί, ως επί το πλείστον, στη διαχείριση της διεπαφής του χρήστη ακολουθώντας την έννοια του Separation of Concerns (SoC) (Phyllip Laplante, 2007).

3.3 NoisePollutionViewModel.java

Η γενική αρχιτεκτονική πάνω στην οποία έχει βασιστεί ο κώδικας είναι το αρχιτεκτονικό πρότυπο λογισμικού Model-View-Viewmodel (MVVM). Υπό τη λογική αυτή, η γραφική διεπαφή (User Interface, UI) του χρήστη, στη περίπτωση μας η *NoisePollutionActivity*, διαχωρίζεται ώστε να είναι ανεξάρτητη από την επιχειρησιακή λογική της εφαρμογής και το back-end. Σε αυτό το μοντέλο η κλάση *NoisePollutionViewModel* παρέχει υποστηρικτικό ρόλο. Στη κλάση αυτή έχει επίσης υλοποιηθεί το μοτίβο LiveData με observers, όπου οι μεταβλητές που έχουν οριστεί ως LiveData παρακολουθούνται από τους observers για τυχόν αλλαγές σε πραγματικό χρόνο. Η συγκεκριμένη υλοποίηση φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμη αφού η ηχογράφηση πραγματοποιείται ασύγχρονα, χωρίς να μπλοκάρει το UI του χρήστη, και χρειαζόταν ένας τρόπος επικοινωνίας των αλλαγών στις τιμές της ηχογράφησης.

3.4 BackgroundRecording.java

Από τα πιο σημαντικά σημεία που αφορούν την εμπειρία του χρήστη (User Experience, UX) σε μια εφαρμογή κινητού, είναι η ταχύτητα και η ανταπόκριση της εφαρμογής. Είναι πολύ σημαντικό η εφαρμογή να υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δίνει την εντύπωση πως έχει κολλήσει μπλοκάροντας τις ενέργειες του χρήστη. Αν η ηχογράφηση γινόταν στο κεντρικό νήμα (main thread) της εφαρμογής, το UI δεν θα αποκρινόταν μέχρι να ολοκληρωθεί η ηχογράφηση, δηλαδή ο χρήστης θα περίμενε η εφαρμογή να αποκριθεί μετά από σχεδόν δέκα δευτερόλεπτα και δεν θα μπορούσε να τη σταματήσει μόνος του. Για την επίλυση αυτού γράφτηκε η BackgroundRecording υλοποιώντας την ασύγχρονη λογική της ηχογράφησης με τη δημιουργία ενός νέου νήματος.

3.5 NoiseRecorder.java

Η συγκεκριμένη κλάση εκφράζει το χαμηλότερο επίπεδο της εφαρμογής. Εδώ περιγράφονται όλες οι λεπτομέρειες που αφορούν το τρόπο που πραγματοποιείται η ηχογράφηση. Έχοντας ως στόχο τη δημιουργία μιας εφαρμογής συμβατής προς το μεγαλύτερο δυνατό κοινό, έχουν επιλεγεί και ορισμένες παράμετροι οι οποίες συμβάλλουν στην επίτευξη αυτού του στόχου. Για λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί στη θεωρία, επιλέχθηκε συχνότητα δειγματοληψίας 44,100Hz με κωδικοποίηση PCM 16-bit, ενώ επιλέχθηκε η ηχογράφηση από μονοφωνικό κανάλι το οποίο είναι συμβατό με μεγαλύτερο εύρος κινητών. Η λήψη των δειγμάτων γίνεται ανά δείγματα μεγέθους που ορίζεται από το σύστημα ως τα κατώτερα απαιτούμενα για μια ηχογράφηση, προσπαθώντας έτσι να μιμηθούμε τη λειτουργία impulse που έχουν τα ηχόμετρα.

Η δειγματοληψία λοιπόν πραγματοποιείται με την αποθήκευση ενός μονοδιάστατου πίνακα μεγέθους ίσου με το κατώτερο απαιτούμενο. Οι τιμές του πίνακα αυτού αντιπροσωπεύουν τις διαταραχές που υπέστη το μικρόφωνο από το σημείο ισορροπίας του με τη πάροδο του χρόνου. Όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο της θεωρίας, τα decibel είναι λογαριθμικό μέγεθος και περιγράφει την αναλογία μιας τιμής προς μια τιμή αναφοράς. Έχοντας ηχητικό βάθος 16-bit, οι τιμές που παίρνουμε από τον κβαντιστή βρίσκονται στο εύρος $[-32768, 32767]$, μπορούμε να περιγράψουμε τα decibel ως προς αυτό. Καθώς σε κάθε δειγματοληψία παίρνουμε ένα μεγάλο συγκριτικά αριθμό διακριτών τιμών, στην κλάση Utils υλοποιείται ο κώδικας που παίρνει τον μέσο όρο των απόλυτων τιμών του δείγματος και υπολογίζει αυτόν ως προς 32768, που ορίζεται ως τιμή αναφοράς. Ακολουθώντας την ίδια λογική με τη στάθμη ηχητικής πίεσης. Παίρνοντας ακραίες τιμές, κοντά στο μηδέν και κοντά στο 32768, παρατηρείται πως το εύρος decibel που βρίσκουμε είναι κοντά στα 110 όταν επιλέγουμε τιμές ενός δεκαδικού ψηφίου. Συγκεκριμένα για τιμή 32767.9 έχουμε $-3 \cdot 10^{-5}$ και για τιμή 0.1 έχουμε 110.3, για το λόγο αυτό εφαρμόζεται μια στάθμιση ώστε οι τιμές που βλέπουμε, να βρίσκονται στο εύρος 1 - 110. Ο κώδικας παρουσιάζεται στη συνέχεια.

```

//Calculate average amplitudes
public static Double calculateAvg(short[] sample, int referenceValue, int dBRange) {
    double sum = 0.0;
    int count = 0;
    for (short s : sample) {
        if (s!=0) {
            sum += Math.abs(s);
            count++;
        }
    }
    double x = sum/count;
    //dB calculation
    return 20*Math.log10(x/referenceValue) + dBRange;
}

```

Εικόνα 17: Συνάρτηση του υπολογισμού των decibel

3.6 AppCrashHandler, NetworkHelper, Utils

Έχει νόημα να γίνει μια σύντομη αναφορά στις κλάσεις *AppCrashHandler*, *NetworkHelper* και *Utils* ως προς τη λειτουργία που έχουν μέσα στην εφαρμογή. Οι παραπάνω κλάσεις δημιουργήθηκαν στα πλαίσια συγγραφής μιας εφαρμογής που ακολουθεί τα τελευταία πρότυπα και συμβάσεις. Η *AppCrashHandler* διαχειρίζεται τυχόν σφάλματα που μπορεί να προκύψουν στο κώδικα, και με την άδεια του χρήστη συντάσσει ένα email για την αποστολή τους προς τους developers. Η *NetworkHelper* είναι η υπεύθυνη για την αποστολή των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τον χρήστη στη βάση. Η κεντρική βάση η οποία έχει επιλεχθεί για την αποστολή των δεδομένων είναι Firebase Database, αλλά έχει πραγματοποιηθεί υλοποίηση και για αποστολή δεδομένων σε βάση PostgreSQL. Τέλος, η κλάση *Utils* περιέχει χρήσιμες συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται σε διάσπαρτα σημεία μέσα στον κώδικα.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια επισκόπηση των αρχικών στόχων που είχαν τεθεί για την ολοκλήρωση του έργου προκειμένου να διαπιστωθεί εάν αυτοί εκπληρώθηκαν και σε τι βαθμό.

Ο πρωταρχικός στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης της ηχορύπανσης. Για το σκοπό αυτό υλοποιήθηκε ολοκληρωμένα μια κινητή εφαρμογή σε λογισμικό Android για τη καταγραφή της έντασης του ήχου, της τοποθεσίας και της χρονικής στιγμής μέσα από την ηχογράφηση ηχητικών αποσπασμάτων. Ακόμη, μέσω της εφαρμογής πραγματοποιείται η συλλογή ορισμένων επιπλέον πληροφοριών οι οποίες αφορούν χαρακτηριστικά του χρήστη και την αντίληψη του για τον ήχο που ηχογραφήθηκε, προκειμένου να δοθεί μια καλύτερη εικόνα του θορύβου και να μπορέσει να εξαχθεί επιπρόσθετη γνώση με βάση αυτά. Είναι άξιο να αναφερθεί πως όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται ικανοποιούν έναν από τους σημαντικότερους μη λειτουργικούς στόχους, του σεβασμού της ιδιωτικότητας του χρήστη. Οποιαδήποτε πληροφορία καταγράφεται είναι εντελώς ανώνυμη και δεν ζητείται καμία ταυτοποίηση ή δημιουργία λογαριασμού από τον χρήστη. Το τελευταίο είναι ένας από τους λόγους που καθιστά την εφαρμογή εύχρηστη και προσβάσιμη αφού οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να ανοίξει την εφαρμογή και να κάνει μια σύντομη μέτρηση άμεσα και εύκολα. Η ευχρηστία ενισχύεται και από την απλότητα του σχεδιασμού της εφαρμογής, αφού αποτελείται από μια μόνο οθόνη που καλύπτει τις βασικές ανάγκες της. Άλλωστε, οι τεχνολογίες και παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν προσμετρώντας συμβατότητα και προσβασιμότητα για τη πλειοψηφία των χρηστών.

Εξίσου σημαντικός στόχος ήταν η ενσωμάτωση του πληθοπορισμού ως μεθόδου. Για να δούμε αν ολοκληρώθηκε σαν στόχος αρκεί να συγκρίνουμε το αποτέλεσμα με τις προδιαγραφές που αριθμήθηκαν στον ορισμό, όπως διατυπώθηκε στο κεφάλαιο της θεωρίας. Η εφαρμογή δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι προσβάσιμη σε όσους περισσότερους χρήστες κινητών τηλεφώνων γίνεται, έχοντας ξεκάθαρο στόχο την μέτρηση

της ηχορύπανσης που συμβάλλει στους γενικότερους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης και ευημερίας των πόλεων. Η εφαρμογή μοιράζεται ελεύθερα σε χρήστες, από τους κατόχους των πνευματικών δικαιωμάτων, με τη μορφή ανοιχτής πρόσκλησης, έχοντας στόχο την συλλογή μεγάλου όγκου σχετικών δεδομένων που αυτή τη στιγμή υπολείπονται. Τέλος, αποτελεί μια διαδικτυακή διαδικασία συμμετοχικού τύπου που αξιοποιεί το διαδίκτυο για το διαμοιρασμό των δεδομένων.

Όσον αφορά το βαθμό ολοκλήρωσης των στόχων, μπορούμε να πούμε πως η πλειοψηφία αυτών εκπληρώθηκε σε παραπάνω από ικανοποιητικό βαθμό. Για το έργο, στα πλαίσια του πληθοπορισμού, χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός των μοντέλων συλλογικής ευφυΐας και συλλογικής ψηφοφορίας. Η εφαρμογή μπορεί να διαμοιραστεί σε μεγάλο αριθμό ατόμων, επεκτείνοντας τη περιοχή που γίνεται η δειγματοληψία και επιτρέποντας τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων. Ως προς τα δεδομένα, η λήψη της τοποθεσίας, του χρόνου και της ημερομηνίας γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, μια σημαντική παράμετρος που δεν ανταπεξήλθε στους αρχικούς στόχους είναι ο τρόπος μέτρησης των decibel. Όπως ορίζεται από τη πλειοψηφία της διεθνούς κοινότητας, τα decibel υπολογίζονται με A-κλίμακα στάθμισης στο πεδίο των συχνοτήτων (LAeq), στόχος που δεν ολοκληρώθηκε στη παρούσα εργασία. Για να υπολογίσουμε αυτή τη μετρική χρειάζεται, είτε να γραφτεί κώδικας, είτε να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη βιβλιοθήκη ώστε να εφαρμοστεί ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier στις τιμές των δειγμάτων που συλλέγονται από κάθε ηχογράφιση. Η παραπάνω ενέργεια θα μας επιτρέψει να μεταβούμε στο πεδίο των συχνοτήτων και να δούμε το εύρος συχνοτήτων από τις οποίες αποτελείται το σήμα. Από εκεί, ακολουθώντας κατάλληλη μεθοδολογία, υπολογίζεται το εύρος συχνοτήτων για να γίνει η στάθμιση με A-κλίμακα.

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας της παρούσας υλοποίησης, πραγματοποιήθηκαν ορισμένα πειράματα μέτρησης decibel, σε τρεις διακριτές κινητές συσκευές και σε ένα ηχόμετρο. Το ηχόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το ET-933 FLUS, σχεδιασμένο ώστε να συμμορφώνεται με το IEC61672-1 CLUSS 2 STANDARD, ενώ οι μετρήσεις πάρθηκαν με LAeq. Τα κινητά τηλέφωνα με τα οποία έγινε ο πειραματισμός, είναι τα: Xiaomi Mi 9 Lite, Xiaomi Mi 8 Lite και Samsung Galaxy A32 5G. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις τεσσάρων σεναρίων:

Μετρήσεις (dB)

<i>Εργαλεία Μέτρησης</i>	<i>Μέτρηση 1η</i>	<i>Μέτρηση 2η</i>	<i>Μέτρηση 3η</i>
<i>ET-933 FLUS</i>	59,2	59,2	59,1
<i>Galaxy A32</i>	33,9	36,2	30,7
<i>Mi 9 Lite</i>	40,6	43,6	34,2
<i>Mi 9 Lite</i>	54,0	56,8	53,2

Πίνακας 3: Μετρήσεις σε πολύ ήσυχο δωμάτιο

Στο πρώτο σενάριο οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα πολύ ήσυχο δωμάτιο. Το πείραμα διενεργήθη σε χρονικό πλαίσιο μεταξύ 3 π.μ. και 4 π.μ., χωρίς την παρουσία αισθητού εξωτερικού θορύβου. Παρατηρήθηκαν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές των κινητών σχετικά με εκείνες του ηχομέτρου, ενώ ακόμα και μεταξύ της ίδιας κινητής συσκευής, εντοπίστηκαν διαφορές άνω των 3 dB.

<i>Μετρήσεις (dB)</i>			
<i>Εργαλεία Μέτρησης</i>	<i>Μέτρηση 1η</i>	<i>Μέτρηση 2η</i>	<i>Μέτρηση 3η</i>
<i>ET-933 FLUS</i>	59,0	59,0	59,0
<i>Galaxy A32</i>	69,1	71,0	71,8
<i>Mi 8 Lite</i>	64,8	66,1	66,6
<i>Mi 9 Lite</i>	72,5	71,5	73,8

Πίνακας 4: Μετρήσεις επιπέδου ομιλίας

Συνεχίζοντας, στο δεύτερο σενάριο, το πείραμα έγινε υπό τις ίδιες συνθήκες με την προσθήκη ομιλίας. Πιο συγκεκριμένα, η ώρα και το περιβάλλον της μέτρησης έμειναν πανομοιότυπα, με την διαφορά να έγκειται στην εισαγωγή θορύβου με την μορφή ομιλίας. Για τους σκοπούς του πειράματος, επιλέχθηκε μία φράση η οποία επαναλήφθηκε σε κάθε μέτρηση. Αξίζει να σημειωθεί πως, οι παρεκκλίσεις, ανά συσκευή, μειώθηκαν. Επίσης, οι μετρήσεις σε όλες τις συσκευές αυξήθηκαν συγκριτικά με το πρώτο σενάριο, εκτός του ηχόμετρου, στο οποίο μειώθηκαν κατά 0,2 dBA.

<i>Μετρήσεις (dB)</i>			
<i>Εργαλεία Μέτρησης</i>	<i>Μέτρηση 1η</i>	<i>Μέτρηση 2η</i>	<i>Μέτρηση 3η</i>
<i>ET-933 FLUS</i>	80,3	79,6	79,9
<i>Galaxy A32</i>	92,9	93,1	93,3
<i>Mi 8 Lite</i>	96,8	97,3	96,3
<i>Mi 9 Lite</i>	94,9	94,4	94,1

Πίνακας 5: Μετρήσεις σε Μάζωξη με δυνατή μουσική

Στο σενάριο αυτό οι μετρήσεις λήφθηκαν στα πλαίσια μιας κοινωνικής μάζωσης με δυνατή μουσική. Σε αυτή τη περίπτωση υπήρχε συνδυασμός μουσικής και ομιλίας, το οποίο επηρέασε αισθητά τις τιμές. Οι τιμές είναι υψηλότερες για όλα τα εργαλεία μέτρησης, ενώ φαίνεται να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων με εξαίρεση το ηχόμετρο στο οποίο παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια.

<i>Μετρήσεις (dB)</i>			
<i>Εργαλεία Μέτρησης</i>	<i>Μέτρηση 1η</i>	<i>Μέτρηση 2η</i>	<i>Μέτρηση 3η</i>
<i>ET-933 FLUS</i>	85,6	85,4	85,5
<i>Galaxy A32</i>	92,3	91,7	91,9
<i>Mi 8 Lite</i>	94,6	93,1	96,1
<i>Mi 9 Lite</i>	92,6	92,1	92,3

Πίνακας 6: Μετρήσεις σε πολυσύχναστο δρόμο

Στο τελευταίο σενάριο που υπήρξε πειραματισμός, οι τιμές λήφθηκαν σε πολυσύχναστο δρόμο εντός πόλης. Παρά την ανομοιογένεια που υπάρχει σε τέτοιες μετρήσεις παρατηρούμε πως οι αποκλίσεις για όλες τις συσκευές δεν υφίσταται μεγάλες τροποποιήσεις μεταξύ των μετρήσεων, με εξαίρεση στις μετρήσεις του Mi 8 Lite.

Από τα παραπάνω πειράματα μπορούμε να εξάγουμε τις εξής παρατηρήσεις. Φαίνεται ότι, αντίθετα με τις τιμές των κινητών που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ανά επανάληψη, το ηχόμετρο δεν επηρεάζεται τόσο. Πιο ειδικά, παρατηρήθηκε διαφορά έως και 5.5 dB στις μετρήσεις των κινητών, ενώ στο ηχόμετρο δεν ξεπέρασε το 0,7 dBA. Στη συνέχεια, οι διακυμάνσεις φαίνονται να μειώνονται για τα κινητά όσο η ένταση αυξάνεται, ενώ αντίθετα η μεγαλύτερη διακύμανση του ηχομέτρου παρατηρήθηκε στο τελευταίο σενάριο. Σημειώνεται πως, οι διαφορές που διαπιστώνονται ανάμεσα στα κινητά και το ηχόμετρο είναι αναμενόμενες, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται διαφορετικός αλγόριθμος υπολογισμού των decibel. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν έγινε κάποιας μορφής βαθμονόμηση των

κινητών, γιατί η μια υλοποίηση δεν συμπεριλαμβάνει τις συχνότητες στη μέτρηση, ενώ η άλλη τις συμπεριλαμβάνει. Ως εκ τούτου, δε μπορούμε να διασφαλίσουμε την ακρίβεια του συγκεκριμένου αλγορίθμου για τη μέτρηση των decibel.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η όλο και ταχύτερα αναπτυσσόμενη τεχνολογική κοινωνία του σήμερα σε συνδυασμό με την άνοδο της αστικοποίησης (Ritchie and Roser, 2018), προκαλεί τη συσσώρευση των κατοίκων σε μεγάλες πόλεις εντείνοντας μια πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων, μεταξύ αυτών και η ηχορύπανση. Παρά την μεγάλη κινητοποίηση από θεσμούς και οργανισμούς σχετικά με την ηχορύπανση, παρατηρείται σημαντική έλλειψη δεδομένων μέτρησής της. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη υλοποιήθηκε μια εφαρμογή για κινητά σε λογισμικό Android για τη καταγραφή και μέτρηση της ηχορύπανσης αξιοποιώντας τη μέθοδο του πληθοπορισμού.

Με βάση το έργο που έχει πραγματοποιηθεί παρουσιάζονται ορισμένες αλλαγές και προτάσεις μελλοντικής εργασίας για την αναβάθμιση του συστήματος.

Το περιβάλλον της εφαρμογής έχει φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο ώστε η ευχρηστία και η απλότητα να συνυπάρχουν στο σχεδιασμό της. Υπό την καθοδήγηση των αναγκών του έργου έχει υλοποιηθεί μια απλή οθόνη για να καλυφθούν, επομένως υπάρχει χώρος για βελτίωση της διεπαφής του χρήστη. Η εμπειρία για τον χρήστη αποτελεί πολύ σημαντικό κίνητρο για την ενασχόληση με την εφαρμογή. Συνεπώς, στα πλαίσια αναβάθμισης του UI/UX θα μπορούσε να υλοποιηθεί μια Splash screen (<https://developer.android.com/guide/topics/ui/splash-screen>) και μια Onboarding screen (<https://developer.android.com/training/tv/playback/onboarding>). Η πρώτη οθόνη θα προετοιμάζει τον χρήστη προτού μπει στην εφαρμογή, στα πλαίσια μιας ομαλής μετάβασης, ενώ η δεύτερη θα παρουσιάζει συνοπτικά τη λειτουργία της εφαρμογής και θα τον ενημερώνει σχετικά με τις άδειες και τη διαχείριση των δεδομένων που ζητούνται. Από λειτουργικής απόψεως, έχει νόημα να φτιαχτεί ένας τοπικός χρήστης, τα χαρακτηριστικά του οποίου θα εισάγονται αυτόματα όταν πρόκειται να γίνει η αποστολή στο back-end, έτσι ώστε να μην επαναλαμβάνεται η συμπλήρωση των στοιχείων που δεν τροποποιούνται ανά μέτρηση. Θα μπορούσε επίσης να σχεδιαστεί η υλοποίηση ενός τοπικού χάρτη ο οποίος θα εμφανίζει τη κατανομή της ηχορύπανσης γύρω από την τοποθεσία του. Στη παρούσα εργασία έχει γίνει λόγος για συμμετοχική παρακολούθηση, προκειμένου να μειωθεί η επιβάρυνση του χρήστη έχει νόημα να μελετηθεί ένα νέο μοντέλο παρακολούθησης, αυτό της ευκαιριακής ανίχνευσης. Η τελευταία διαφέρει καθώς επιτρέπει

στην εφαρμογή να λειτουργεί στο παρασκήνιο απαιτώντας ελάχιστη ενεργή συμμετοχή από τον χρήστη (F and U, 2015; Ma, D, *et al.*, 2015; Βρυώνη, 2016).

Υπάρχει και ένας αριθμός αναβαθμίσεων που προτείνεται να γίνουν στο τεχνικό επίπεδο της εφαρμογής. Αρχικά, θετικό θα ήταν να γίνει πιο εκτεταμένη μελέτη για την εκπλήρωση του στόχου που δεν ικανοποιήθηκε. Η μέτρηση την ηχορύπανσης θα πρέπει να γίνεται με τη μετρική LAeq η οποία αναγνωρίζεται από τον ΠΟΥ και αποτελεί την επίσημη μετρική. Ακόμη, έχει νόημα να αξιολογηθεί και η χρήση νεότερων μεθόδων στάθμισης εκτός της A-κλίμακας, οι οποίες έχουν εμφανιστεί όπως είναι η κλίμακα ITU-R 468. Άλλες επεκτάσεις μπορούν να εφαρμοστούν με την αύξηση των πληροφοριών που συλλέγονται, συμπεριλαμβάνοντας και άλλα στοιχεία μέτρησης. Επιπλέον, ο κώδικας οφείλει να είναι ενημερωμένος ανάλογα με τις τελευταίες τεχνολογίες και συμβάσεις, ώστε να λειτουργεί αποδοτικά και λειτουργικά. Υπό αυτό το πρίσμα, μπορεί να εξεταστεί η αλλαγή σε γλώσσα προγραμματισμού Kotlin της οποίας η κοινότητα προγραμματιστών αποκτά όλο και περισσότερους ακόλουθους τα τελευταία χρόνια, με την επίσημη υποστήριξη της Google για προγραμματισμό σε Android. Τέλος, θα ήταν χρήσιμο η εφαρμογή να υλοποιηθεί και σε άλλα λειτουργικά συστήματα όπως iOS.

Ο κώδικας της εφαρμογής μπορεί να βρεθεί στον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://github.com/it21549/NoisePollutionApp.git>

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

, Φ. Κωνσταντίνου, Χ. Καψάλης, Π. Κ. (1995) *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες*.

'16228.pdf' (no date).

Anon (1997) 'Future noise policy - European Commission Green Paper COM(96) 540', *Noise and Vibration Worldwide*, pp. 9–11.

Antonella Radicchi (2018) 'The use of mobile applications in soundscape research: open questions in standardization'.

'Assessment and Management of Environmental Risks' (2001) *Assessment and Management of Environmental Risks*. doi: 10.1007/978-94-010-0987-4.

Basten, T. G. H. and Wessels, P. W. (2014) 'An Overview of Sensor networks for Environmental Noise Monitoring'.

'Bell System Technical Journal - October 1933 - Fletcher - Loudness Its Definition Measurement and Calculation.pdf' (no date).

Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. (1995) 'Guidelines for Community Noise. World Health Organization', *Noise & Vibration Worldwide*, pp. 1–141. Available at: <http://multi-science.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1260/0957456001497535>.

van den Boogert, M. (2022) 'Engaging the Crowd in Sensing for Smart Mobility'.

Brockmole, J. and Goldstein, E. B. (2014) *Sensation and Perception 10th Edition*.

Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S., Srivastava, M. B. (2006) *Participatory sensing. The 4th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 5.

Caitlin Cottrill, Naomi Jacobs, Milan Markovic, P. E. (2020) 'Sensing the City: Designing for Privacy and Trust in the Internet of Things'.

Cardinale, B., Duffy, J., Gonzalez, A., Hooper, D., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Tilman, D., Wardle, D., Kinzig, A., Daily, G., Loreau, M., Grace, J., Larigauderie, A., Srivastava, D. and Naeem, S. (2012) 'Biodiversity loss and its impact on humanity', *Nature*, 486, pp. 59–67. doi:

10.1038/nature11148.

Carl E. Seashore (1967) *Psychology of Music*.

Christin, D., Reinhardt, A. and Kanhere, S. S. (2011) 'A survey on privacy in mobile participatory sensing applications'.

Deepak Jhanwar (2016) 'Noise Pollution: A Review'.

Du, R., Member, S., Santi, P., Xiao, M., Member, S., Vasilakos, A. V, Fischione, C. (2019a) *The Sensable City : A Survey on the Deployment and Management for Smart City Monitoring*.

Du, R., Member, S., Santi, P., Xiao, M., Member, S., Vasilakos, A. V, Fischione, C. (2019b) *The Sensable City : A Survey on the Deployment and Management for Smart City Monitoring*.

Elise van Kempen,corresponding author Irene van Kamp, Erik Lebre, Jan Lammers, Harry Emmen, and S. S. (2010) 'Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study'.

EllieD'Hondt MatthiasStevens and Jacobsc, A. (2013) 'Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring'.

'Environment noise in europe 2020_TH-AL-20-003-EN-N.pdf' (no date).

Estellés, E. and González, F. (2012) 'Towards an integrated crowdsourcing definition', *Journal of Information Science*, pp. 1–22. Available at: www.crowdsourcing-blog.org/wp-content/uploads/2012/02/Towards-an-integrated-crowdsourcing-definition-Estells-Gonzalez.pdf.

F, S. and U, H. (2015) *Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things. International Journal of Human Computer Studies*.

Fletcher, H. and Munson, W. . (1933) *Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*.

Ghezzi, A., Gabelloni, D. and Mrtini, A. (2017) 'Crowdsourcing: A Review and Suggestions for Future Research'.

Grubesa, S. and Suhanek, M. (2021) 'Traffic Noise', in Siano, D. and González, A. E. (eds) *Noise*

and Environment. Rijeka: IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.92892.

Gwenaël Guillaume, Arnaud Can, Gwendall Petit, Nicolas Fortin, Sylvain Palominos, Benoit Gauvreau, Erwan Bocher, J. P. (2016) 'Noise mapping based on participative measurements'.

Huberman B.A., Romero D.M., W. F. (2009) *Crowdsourcing, Attention and Productivity*. *Journal of Information*.

Irene Garcia-Martí, L. E. R.-P. D. H. (2013) 'Noise Battle: A Gamified application for Environmental Noise Monitoring in Urban Areas'.

Jeff Howe (2008) *Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd Is Driving the Future of Business*.

Jeff Howe (2011) *Crowdsourcing: A definition*. *Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd is Driving the Future of Business*.

Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S., & P. (2014) *An information framework for creating a smart city through internet of things*.

Judicaël Picaut, Nicolas Fortin, Erwan Bocher, Gwendall Petit, Pierre Aumond, G. G. (2019) 'An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones'.

Kamel Boulos, M. N., Al-Shorbaji, N. M. (2014) *On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities*. *International Journal of Health Geographics*.

Kleeman F., Voss G.G, R. K. (2008) *Un(der)paid Innovators: The Commercial Utilization of Consumer Work through crowdsourcing*, *Science, Technology and Innovation Studies*.

M, H., J.P, J. and M, T. (2016) *Crowdsensing-based transportation services - An analysis from business model and sustainability viewpoints*. *Research in Transportation Business and Management*.

Ma, H., D, Z. and P, Y. (2015) *Opportunities in mobile crowd sensing*. *Infocommunications Journal*.

Man-Ching Yuen, Irwin King, K.-S. L. (2011) 'A Survey of Crowdsourcing Systems'.

Marti, I., Rodriguez, L., Benedito, M., Trilles, S., Beltran, A., Diaz, L. and Huerta, J. (2012)

'Mobile Application for Noise Pollution Monitoring through Gamification Techniques in Huerta To cite this version', *11th International Confernece on Entertainment Computing (ICEC)*, pp. 562–571. Available at: <https://hal.inria.fr/hal-01556112/document>.

Meyer-Bisch, C. (2005) 'Measuring noise', *Medecine/Sciences*, pp. 546–550. doi: 10.1051/medsci/2005215546.

'Mobile Operating System Market Share Worldwide Feb 2021 - Feb 2022' (2022) *statcounter*. Available at: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>.

N, M., M, S., M.E, N. and Steels L (2009) *NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. Environmental Science and Engineering*.

O'Dea, S. (2021) 'Share of smartphone shipments worldwide by vendor from 1st quarter 2018 to 3rd quarter 2021', *Statista*.

O'Dea, S. (2022) 'Number of smartphone subscriptions worldwide from 2016 to 2027', *Statista*. Available at: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>.

ONU (2018) 'World Urbanization Prospects', *Demographic Research*, pp. 197–236. Available at: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.

Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016) '. Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing'.

Phyllip Laplante (2007) *What every engineer should know about software engineering*.

Puliafito, A., Tricomi, G., Zafeiropoulos, A., Papavassiliou, S. (2021) 'Smart Cities of the Future as Cyber Physical Systems : Challenges and Enabling Technologies. Sensors'.

Rhiannon Thompson, Rachel B. Smith, Yasmin Bou Karim, Chen Shen, Kayleigh Drummond, Chloe Teng, M. B. T. (2022) 'Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence'.

Ritchie, H. and Roser, M. (2018) *Urbanization*. Ourworldindata.org.

Susanne Beck a,b,* , Tiare-Maria Brasseur a,b, Marion Poetz a,b, H. S. c (2022)

‘Crowdsourcing research questions in science’.

Thumann, A. (no date) *Fundamentals of noise control engineering 2nd Edition*.

Truong, N. B., Lee, G. M., Um, T. W., MacKay, M. (2019) *Trust Evaluation Mechanism for User Recruitment in Mobile Crowd-Sensing in the Internet of Things*. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*.

Vukovic, M. (2009) ‘Crowdsourcing for Enterprises Maja Vukovi’, *2009 World Conference on Services*, pp. 686–692. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5190710/>.

Weber M. (2017) *Internet of Things Context of the Smart City*.

‘What are the Characteristics of Sound Waves?’ (2021) *GeeksforGeeks*.

Wibisono, W., Ahmad, T. (2017) *A Mobile Crowdsensing Framework for Integrating Smartphone and IoT*.

Xu, L. J., Zhou, J. X., Guo, Y., Wu, T. M., Chen, T. T., Zhong, Q. J., Yuan, D., Chen, P. Y. and Ou, C. Q. (2017) ‘Spatiotemporal pattern of air quality index and its associated factors in 31 Chinese provincial capital cities’, *Air Quality, Atmosphere and Health*, pp. 601–609. doi: 10.1007/s11869-016-0454-8.

Zaborowski, K. and Sliwinska, M. (2017) ‘WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Permanent Hearing Loss and Tinnitus’.

Βρυώνη, Β. (2016) ‘Mobile Crowdsensing και Εφαρμογές’.

Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, Κ. Π. (2016) *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*.

Ζαφειροπούλου, Ε. (2018) *Πληθοπορισμός: ο ρόλος των ΤΠΕ και της κοινωνικής δικτύωσης στο παρόν και το μέλλον των ανταλλακτικών οικονομιών*.