

# Sleep Tracking Project 2022

Εφαρμογές Τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων

Ομάδα 3: Αγγελόπουλος Κωνσταντίνος και Γεωργιάδης Στέφανος

## 1.Εισαγωγή/σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανίχνευση και η εκτίμηση της χρονικής διάρκειας του διαστήματος ύπνου από καταγραφές δεδομένων 3 διαφορετικών συμμετεχόντων. Τα δεδομένα του προβλήματος προέρχονται από τον αισθητήρα επιταχυνσιόμετρου ενός έξυπνου ρολογιού (Huawei Watch 2) και αποτελούνται από μετρήσεις της επιτάχυνσης σε 3 άξονες. Ο αλγόριθμος που κατασκευάστηκε βασίστηκε πάνω στην μελέτη *Van Hees et al., 2015*. Ο εν λόγω αλγόριθμος υπολογίζει το συνολικό διάστημα ύπνου μέσω της μεταβολής της γωνίας του χεριού/καρπού κατά την διάρκεια του ύπνου. Και χρησιμοποιεί χρονικά παράθυρα απόφασης 5 και 10 λεπτών. Πιο συγκεκριμένα, εάν η γωνία χεριού/καρπού δεν μεταβάλλεται περισσότερο από  $5^\circ$  για 5 ή 10 διαδοχικά λεπτά, τότε ορίζεται πως για εκείνο το χρονικό διάστημα το άτομο κοιμάται. Τέλος, η μέθοδος αυτή αποτελεί μία εξατομικευμένη διαδικασία άμεση και προσιτή σε όλους, η οποία διαφέρει από την επικρατέστερη μέθοδο της πολυμυοιογραφίας (polysomnography) και μπορεί να εφαρμοσθεί σε μεγάλη κλίμακα.

## 2.Δεδομένα και προεπεξεργασία

Τα δεδομένα του προβλήματος προέρχονται από τρία άτομα. Κάθε άτομο έχει καταγραφεί σε δυο διαστήματα ύπνου. Η κάθε καταγραφή ξεκίνησε 15 λεπτά πριν το άτομο ξαπλώσει (RecordingStarted) και τερματίστηκε 15 λεπτά αφότου το άτομο σηκώθηκε το πρωί (RecordingEnded). Για την εκάστοτε καταγραφή, το κάθε άτομο έχει σημειώσει με ακρίβεια λεπτού τη χρονική στιγμή που έπεσε να κοιμηθεί (LightsOut) και τη χρονική στιγμή που ξύπνησε (LightsOn). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα δείγμα από την μορφή που έχουν τα δεδομένα μίας καταγραφής.

	UTC_Time	UpTime	Value1	Value2	Value3
0	2:20:39 AM	524	-0.583849	1.450050	9.635897
1	2:20:39 AM	541	-0.569492	1.469193	9.655040
2	2:20:39 AM	557	-0.562313	1.502693	9.652647
3	2:20:39 AM	574	-0.564706	1.521835	9.659825
4	2:20:39 AM	589	-0.569492	1.517050	9.662218

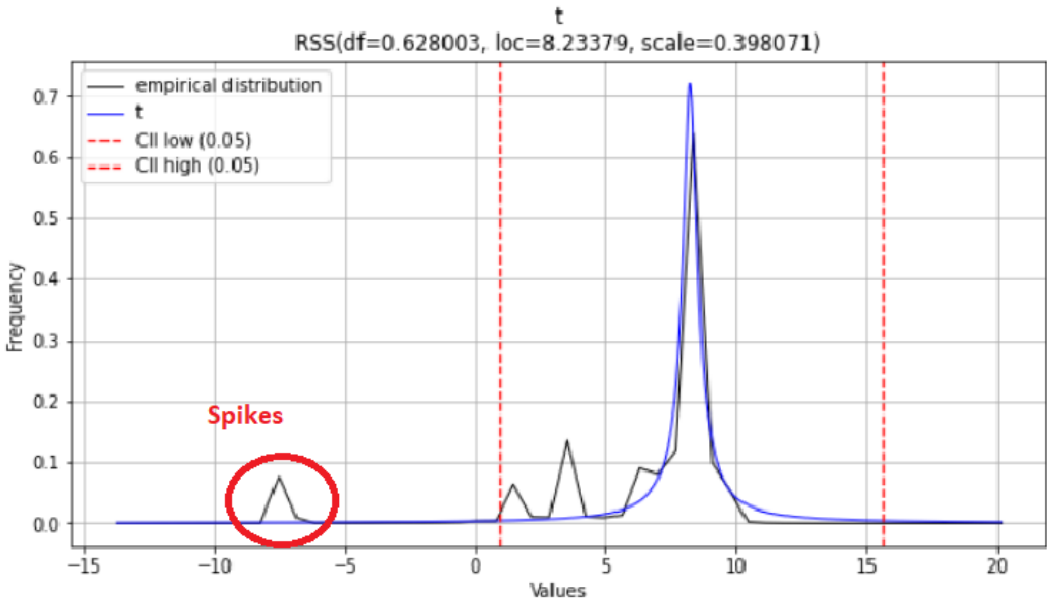
Οι τιμές Value1 , Value2, Value3 αντιπροσωπεύουν τις μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου από το έξυπνο ρολόι σε 3 άξονες (x,y,z) και έχουν μονάδα μέτρησης το 1g. Οι τιμές UTC\_time και UpTime αντιστοιχούν στην χρονική στιγμή της καταγραφής. Η χρονική καταγραφή που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του αλγορίθμου είναι η μεταβλητή UpTime εκφρασμένη σε millisecond.

Επίσης, για την εκάστοτε καταγραφή, το κάθε άτομο έχει σημειώσει με ακρίβεια λεπτού τη χρονική στιγμή που έπεσε να κοιμηθεί (LightsOut) και τη χρονική στιγμή που ξύπνησε (LightsOn). Τα δεδομένα αυτά δίνονται και χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης (ground truth) για τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον αλγόριθμο και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Στήλη1	RecordingStarted	LightsOut	LightsOn	RecordingEnded
Participant1, A	2:20	2:35	7:40	7:55
Participant1, B	2:09	2:24	7:31	7:46
Participant2,A	2:19	2:35	4:52	5:08
Participant2,B	0:24	0:46	4:19	4:36
Participant3,A	1:09	1:24	9:10	9:24
Participant3,B	3:08	3:23	9:03	9:18

Πίνακας 1: Τα διαστήματα ύπνου που χρησιμοποιούνται ως ground truth ως προς κάθε καταγραφή

Όσον αναφορά την προεπεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε απαραίτητη και χωρίστηκε σε 2 διαδικασίες, μέσω των οποίων παράλληλα μειώθηκε σημαντικά το υπολογιστικό κόστος. Αυτές είναι α) η αφαίρεση ακραίων τιμών (spikes) από τις μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου. Πιο συγκεκριμένα έγινε ανάλυση της κατανομής των μεταβλητών, υπολογίστηκε και με βάση το στατιστικό zscore αφαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Επίσης έγινε β) επαναδειγματοληψία των δεδομένων με σκοπό, η μεταβλητή του χρόνου UpTime να έχει συχνότητα την ονομαστική (20 Hz) ή 50 millisecond. Κατά την διαδικασία αυτή οι νέες τιμές προέκυψαν ως ο μέσος όρος των παρεμβαλλόμενων μετρήσεων.

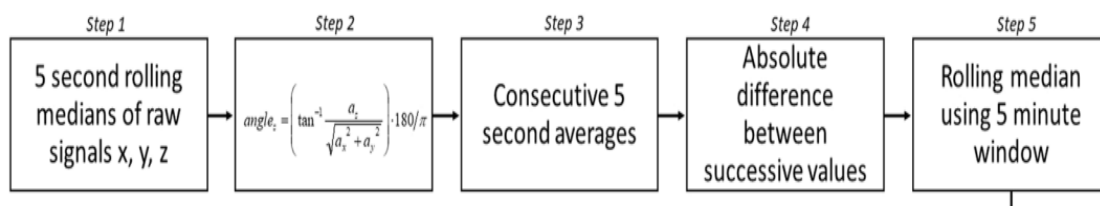


### 3.Μεθοδολογία επίλυσης

Μετά την προεπεξεργασία των δεδομένων, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατάστρωση του αλγορίθμου περιγράφεται εν συντομία παρακάτω. Αρχικά υπολογίστηκε η γωνία του καρπού ως προς τον άξονα z. Εδώ, ο άξονας z αντιστοιχεί στον άξονα που τοποθετείται κάθετα στην επιφάνεια του δέρματος (ραχιαία-κοιλιακή κατεύθυνση όταν ο καρπός βρίσκεται στην ανατομική θέση). Η γωνία αυτή είναι εκφρασμένη σε μοίρες και υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$angle_z = \left( \tan^{-1} \frac{a_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}} \right) \cdot 180/\pi,$$

όπου  $a_x$ ,  $a_y$  και  $a_z$  είναι οι τριαξονικές μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου (Value1, Value2, Value3). Ένα σημείο που χρήζει προσοχής είναι ότι οι τιμές αυτές είναι αντιστοιχούν στις διάμεσες τιμές που προκύπτουν με βάση ένα κυλιόμενο χρονικό παράθυρο πέντε δευτερολέπτων. Στη συνέχεια, οι εκτιμώμενες γωνίες υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο ανά εποχή 5 δευτερολέπτων και χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της αλλαγής στην γωνία του καρπού μεταξύ των διαδοχικών εποχών 5 δευτερολέπτων. Τέλος, προσδιορίστηκαν τα πιθανά διαστήματα ύπνου, για δύο διαφορετικά χρονικά παράθυρα απόφασης. Πιο συγκεκριμένα, οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες δεν υπήρχε μεταβολή μεταξύ των διαδοχικών γωνιών μεγαλύτερη από  $5^\circ$  για τουλάχιστον 5 λεπτά ή 10 λεπτά ταξινομήθηκαν ως περίοδοι ύπνου. Τα παραπάνω βήματα οπτικοποιούνται στην παρακάτω εικόνα.



### 4.Αποτελέσματα

Αφού ολοκληρώθηκε η παραπάνω διαδικασία, δημιουργήθηκαν διαγράμματα για κάθε καταγραφή που απεικονίζουν το σήμα της γωνίας χεριού για τα διαστήματα ύπνου, για παράθυρα 5 και 10 λεπτών που ανιχνεύτηκαν από τον αλγόριθμο συγκρινόμενα με την groundtruth χρονική περίοδο. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν και παρουσιάστηκαν σε μορφή πίνακα τα χρονικά διαστήματα αδράνειας που ταξινομήθηκαν ως διαστήματα ύπνου για κάθε καταγραφή. Τέλος, έγινε αξιολόγηση και σύγκριση της επίδοσης του αλγορίθμου ως προς κάθε συμμετέχοντα, για τα δυο διαφορετικά χρονικά παράθυρα. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε πως διαφορετική επιλογή παραμέτρων επηρεάζει τα αποτελέσματα.

Η μετρική που χρησιμοποιήθηκε, έχει εύρος τιμών [0,100]. Η καλύτερη απόδοση αποδίδεται στην τιμή 0 και η χειρότερη στην τιμή 100. Είναι παρόμοια με την accuracy που χρησιμοποιείται σε προβλήματα κατηγοριοποίησης. Η λογική υπολογισμού της μετρικής αυτής (σφάλματος) πηγάζει από την οπτικοποίηση του προβλήματος στα διαγράμματα που προαναφέρθηκαν. Ουσιαστικά είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των 2 γραμμών (διάστημα ύπνου, ground truth).

Τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται ομαδοποιημένα ως προς κάθε συμμετέχοντα στις παρακάτω εικόνες.

# Συμμετέχοντας 1

## 1η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	02:37:00 - 02:47:20	02:37:00 - 02:47:20	02:35:05 - 07:40:00
1	02:47:35 - 02:56:00	03:19:05 - 04:22:45	-
2	02:56:10 - 03:03:35	04:30:20 - 04:45:30	-
3	03:03:45 - 03:11:15	04:49:55 - 05:19:40	-
4	03:12:05 - 03:19:00	05:19:45 - 05:34:25	-
5	03:19:05 - 04:22:45	05:50:10 - 06:07:15	-
6	04:24:45 - 04:30:10	06:15:50 - 06:31:05	-
7	04:30:20 - 04:45:30	06:31:20 - 06:51:35	-
8	04:49:55 - 05:19:40	06:52:15 - 07:12:10	-
9	05:19:45 - 05:34:25	07:12:15 - 07:28:40	-
10	05:43:05 - 05:50:00	07:28:50 - 07:39:15	-
11	05:50:10 - 06:07:15	-	-
12	06:07:20 - 06:15:45	-	-
13	06:15:50 - 06:31:05	-	-
14	06:31:20 - 06:51:35	-	-
15	06:52:15 - 07:12:10	-	-
16	07:12:15 - 07:28:40	-	-
17	07:28:50 - 07:39:15	-	-

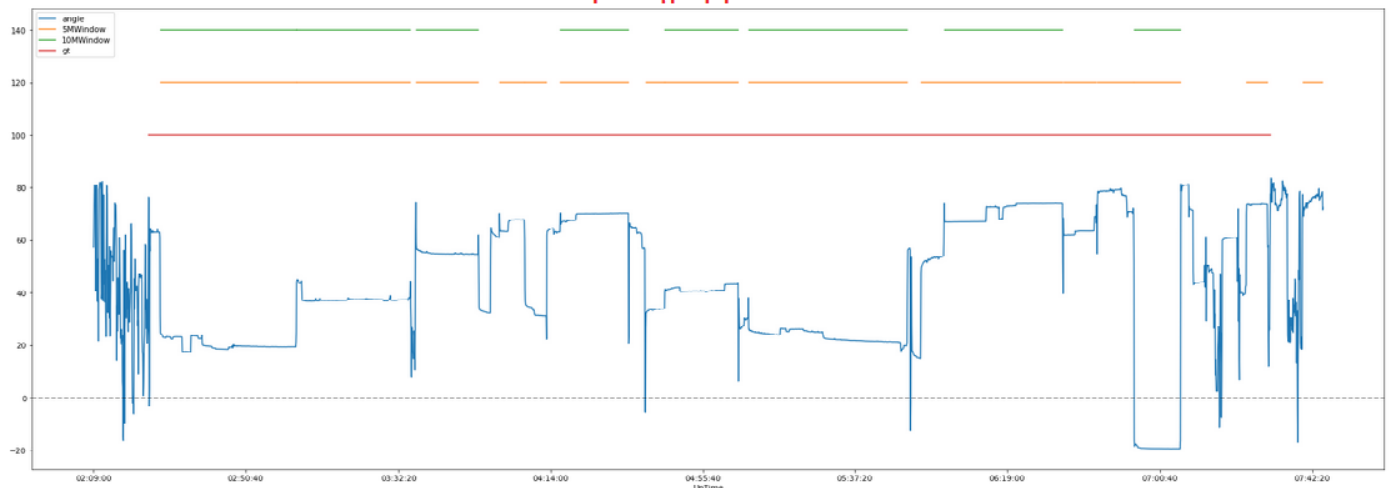
## 2η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	02:27:25 - 03:04:40	02:27:25 - 03:04:40	02:24:05 - 07:31:00
1	03:04:45 - 03:35:30	03:04:45 - 03:35:30	-
2	03:37:10 - 03:54:10	03:37:10 - 03:54:10	-
3	04:00:05 - 04:06:50	04:16:40 - 04:35:20	-
4	04:07:00 - 04:12:50	04:45:20 - 05:05:25	-
5	04:16:40 - 04:35:20	05:08:20 - 05:51:45	-
6	04:40:10 - 04:45:15	06:02:00 - 06:34:00	-
7	04:45:20 - 05:05:25	06:53:40 - 07:06:20	-
8	05:08:20 - 05:51:45	-	-
9	05:55:35 - 06:01:45	-	-
10	06:02:00 - 06:34:00	-	-
11	06:34:20 - 06:43:15	-	-
12	06:43:35 - 06:53:30	-	-
13	06:53:40 - 07:06:20	-	-
14	07:24:25 - 07:30:10	-	-
15	07:39:55 - 07:45:15	-	-

## 1η Καταγραφή



## 2η Καταγραφή



## Συμμετέχοντας 2

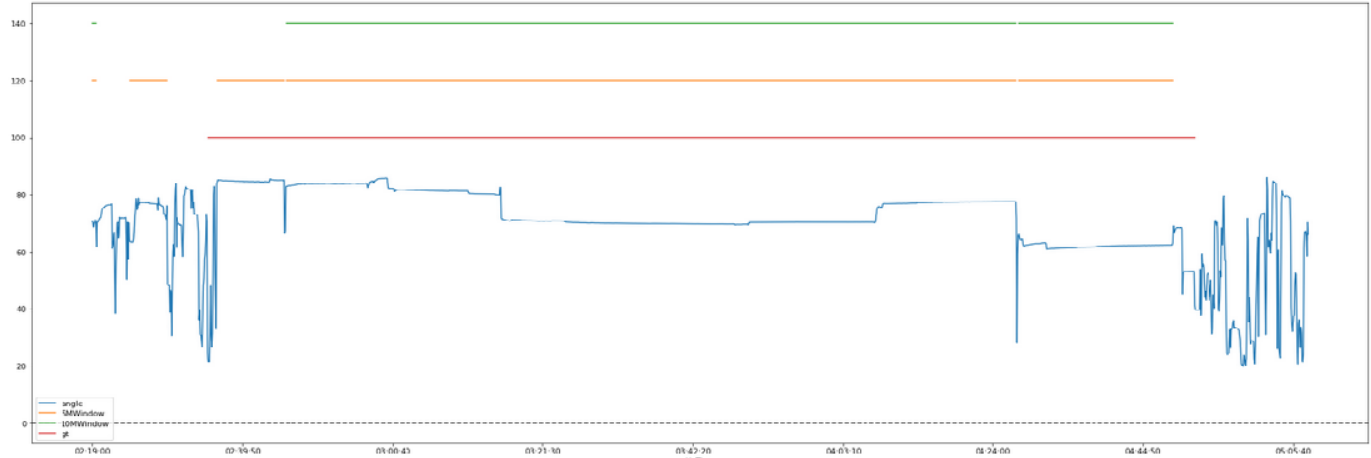
### 1η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	02:19:00 - 02:19:35	02:19:00 - 02:19:35	-
1	02:24:10 - 02:29:20	02:45:50 - 03:15:40	-
2	02:36:20 - 02:45:35	03:15:45 - 04:27:15	-
3	02:45:50 - 03:15:40	04:27:35 - 04:49:00	-
4	03:15:45 - 04:27:15	-	-
5	04:27:35 - 04:49:00	-	-
6	-	-	02:35:05 - 04:52:00

### 2η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	00:24:00 - 00:24:10	00:24:00 - 00:24:10	-
1	00:47:05 - 00:53:05	00:53:10 - 01:19:40	-
2	00:53:10 - 01:19:40	01:36:10 - 01:51:10	-
3	01:26:10 - 01:36:00	02:09:55 - 02:23:45	-
4	01:36:10 - 01:51:10	02:24:15 - 03:35:40	-
5	01:51:25 - 01:59:30	03:35:55 - 04:10:05	-
6	02:09:55 - 02:23:45	-	-
7	02:24:15 - 03:35:40	-	-
8	03:35:55 - 04:10:05	-	-
9	-	-	00:46:05 - 04:19:00

### 1η Καταγραφή



### 2η Καταγραφή



# Συμμετέχοντας 3

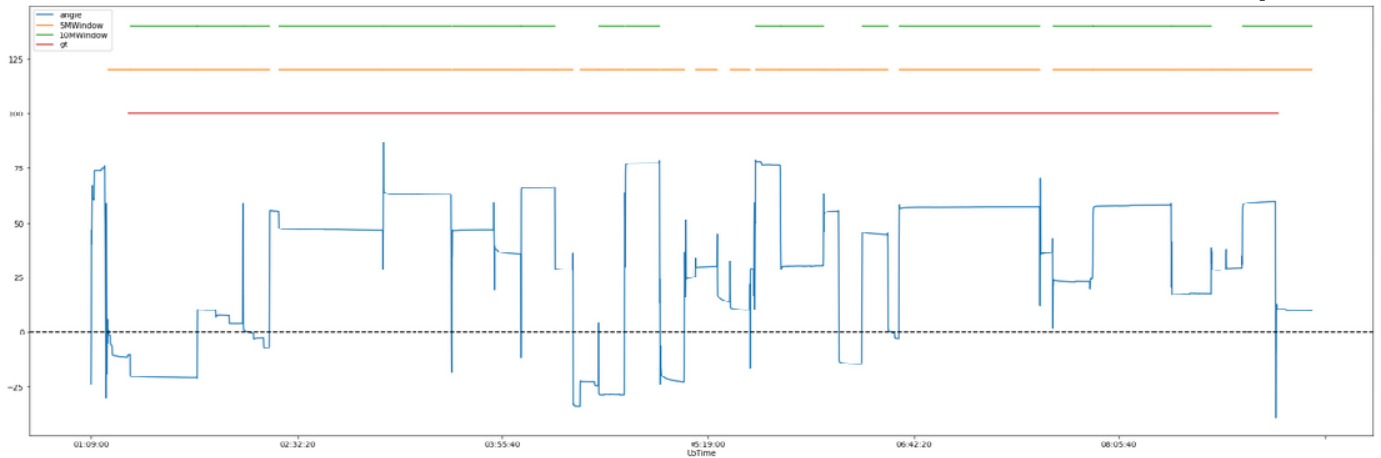
## 1η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	01:15:55 - 01:24:50	01:24:55 - 01:52:20	01:24:05 - 09:10:00
1	01:24:55 - 01:52:20	01:52:30 - 02:10:10	-
2	01:52:30 - 02:10:10	02:10:30 - 02:20:55	-
3	02:10:30 - 02:20:55	02:24:50 - 03:07:10	-
4	02:24:50 - 03:07:10	03:07:30 - 03:35:10	-
5	03:07:30 - 03:35:10	03:35:45 - 03:52:20	-
6	03:35:45 - 03:52:20	03:52:45 - 04:03:15	-
7	03:52:45 - 04:03:15	04:03:30 - 04:17:00	-
8	04:03:30 - 04:17:00	04:34:45 - 04:45:00	-
9	04:17:10 - 04:24:15	04:45:35 - 04:59:10	-
10	04:27:15 - 04:34:35	05:38:25 - 05:48:25	-
11	04:34:45 - 04:45:00	05:48:35 - 06:05:45	-
12	04:45:35 - 04:59:10	06:21:25 - 06:31:40	-
13	04:59:40 - 05:09:10	06:36:20 - 07:33:55	-
14	05:14:15 - 05:22:50	07:39:20 - 07:55:20	-
15	05:28:15 - 05:36:05	07:55:25 - 08:26:25	-
16	05:38:25 - 05:48:25	08:26:45 - 08:42:30	-
17	05:48:35 - 06:05:45	08:55:10 - 09:08:55	-
18	06:06:00 - 06:11:50	-	-
19	06:12:05 - 06:21:10	-	-
20	06:21:25 - 06:31:40	-	-
21	06:36:20 - 07:33:55	-	-
22	07:39:20 - 07:55:20	-	-
23	07:55:25 - 08:26:25	-	-
24	08:26:45 - 08:42:30	-	-
25	08:42:50 - 08:48:25	-	-
26	08:48:40 - 08:54:55	-	-
27	08:55:10 - 09:08:55	-	-

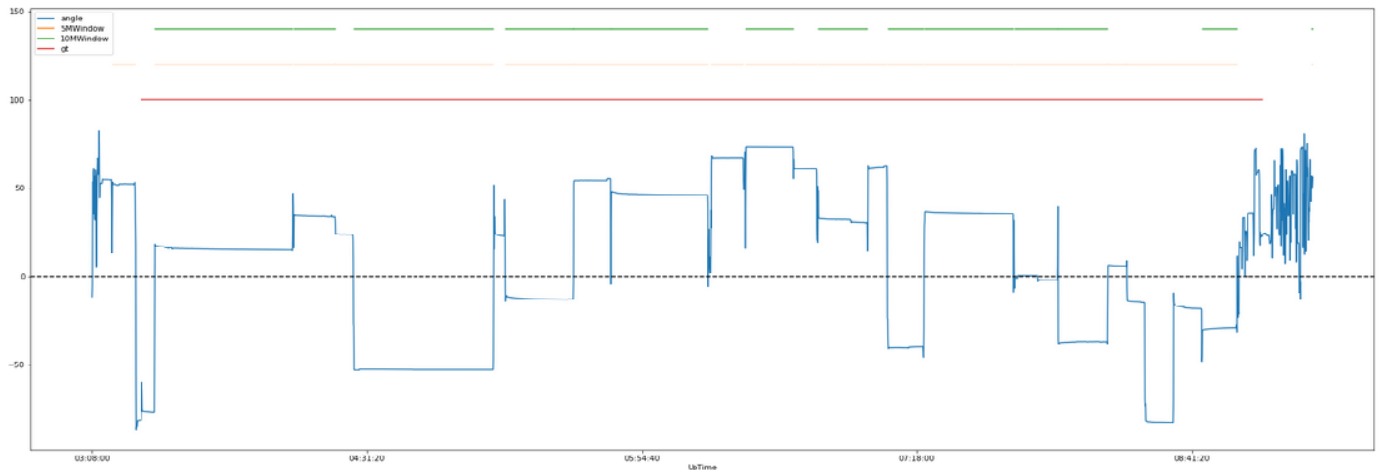
## 2η Καταγραφή

	5 minutes window	10 minutes window	ground truth
Time Intervals			
0	03:14:15 - 03:21:05	03:27:25 - 04:08:55	03:23:05 - 09:03:00
1	03:27:25 - 04:08:55	04:09:25 - 04:21:50	-
2	04:09:25 - 04:21:50	04:27:30 - 05:09:50	-
3	04:21:55 - 04:27:10	05:13:35 - 05:34:00	-
4	04:27:30 - 05:09:50	05:34:10 - 05:45:15	-
5	05:13:35 - 05:34:00	05:45:30 - 06:14:55	-
6	05:34:10 - 05:45:15	06:26:30 - 06:40:45	-
7	05:45:30 - 06:14:55	06:48:20 - 07:03:05	-
8	06:16:05 - 06:25:40	07:09:25 - 07:20:05	-
9	06:26:30 - 06:40:45	07:20:30 - 07:47:30	-
10	06:40:55 - 06:47:50	07:48:00 - 08:00:50	-
11	06:48:20 - 07:03:05	08:01:05 - 08:15:55	-
12	07:03:20 - 07:09:00	08:44:35 - 08:55:00	-
13	07:09:25 - 07:20:05	-	-
14	07:20:30 - 07:47:30	-	-
15	07:48:00 - 08:00:50	-	-
16	08:01:05 - 08:15:55	-	-
17	08:16:05 - 08:21:45	-	-
18	08:21:55 - 08:27:10	-	-
19	08:27:30 - 08:35:45	-	-
20	08:36:00 - 08:44:20	-	-
21	08:44:35 - 08:55:00	-	-

## 1η Καταγραφή



## 2η Καταγραφή



Participants	5minutes error	10 minutes error	Mean 5	Mean 10
Participant1,A	06.28	21.53	10.88	24.90
Participant1,B	15.48	28.28		
Participant2,A	06.31	08.79	8.75	14.74
Participant2,B	11.20	20.69		
Participant3,A	08.17	21.15	9.92	22.44
Participant3,B	11.67	23.74		

Πίνακας2: Το σφάλμα ως προς κάθε συμμετέχοντα

## 5.Συμπεράσματα /Παρατηρήσεις

Καταρχάς, διαπιστώνουμε ότι το χρονικό παράθυρο που χρησιμοποιείται (5 ή 10 λεπτά) για να αποφασιστεί ότι μια περίοδος αδράνειας είναι ύπνος επηρεάζει την εκτιμώμενη διάρκεια του ύπνου. Επίσης, η συνολική διάρκεια ύπνου είναι μεγαλύτερη για χρονικά παράθυρα 5 λεπτών. Επιπλέον καλύτερη συμφωνία μεταξύ της αυτοαναφερόμενης διάρκειας ύπνου και της εκτίμησης του αλγορίθμου εμφανίζεται για τα χρονικά παράθυρα 5 λεπτών.

Επίσης παρατηρούμε, ότι τα χρονικά παράθυρα 5 λεπτών εμφανίζουν συχνότερες και πιο βραχείες διακοπές στον εκτιμώμενο ύπνο ( παύση αδράνειας) συγκριτικά με τα παράθυρα 10 λεπτών που εμφανίζουν λιγότερο συχνές αλλά πιο διαρκείς διακοπές στον εκτιμώμενο ύπνο ( παύση αδράνειας). Από την παραπάνω παρατήρηση μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα παράθυρα 5 λεπτών είναι πιο ευαίσθητα στην καταγραφή όλων των περιόδων ύπνου, ενώ ένα παράθυρο 10 λεπτών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ύπνου τύπου REM, όπου χαρακτηρίζεται από μυϊκή ατονία. Είναι πολύ πιθανό τα μεγάλα χρονικά διαστήματα όπου υπάρχει συμφωνία μεταξύ των 2 παραθύρων να ορίζουν μία συγκεκριμένη φάση ύπνου ή ένα κύκλο ύπνου διάρκειας 90 λεπτών. (Καταγραφή 2<sup>Α</sup>)

Όσον αναφορά ειδικότερα τους 3 συμμετέχοντες. Καλύτερη συμφωνία παρατηρούμε για τον 2<sup>ο</sup> συμμετέχον, μόνο στην πρώτη καταγραφή, όπου έχει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα συγκρινόμενα με το ground truth. Είναι φανερό ότι ο 2<sup>ος</sup> συμμετέχοντας εμφανίζει την καλύτερη απόδοση συνολικά ως προς τα 2 χρονικά παράθυρα, σε σχέση με τους άλλους δύο. Ο 1<sup>ος</sup> χωρίζει το διάστημα ύπνου σε 17 καταγραφές 5λέπτων και 10 καταγραφές 10λέπτων,στην πρώτη καταγραφή, ενώ ο 3<sup>ος</sup> σε 27 5λέπτων και 17 10λέπτων, ενώ ο 2<sup>ος</sup> εμφανίζει πολύ λιγότερα και διαρκή χρονικά διαστήματα.

Τέλος, μία διαφορετική παράμετρος που μεταβαλλόμενη μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα είναι το κατώφλι της γωνίας που στην προκειμένη ορίζεται στις 5 μοίρες. Η συγκεκριμένη παράμετρος θα μπορούσε να μεταβληθεί ανάλογα με την σκοπιμότητα του αλγορίθμου ( είδος ύπνου ή εκτίμηση συνολικής διάρκειας ύπνου). Επίσης, οι αυτοαναφερόμενες τιμές ως groundtruth μπορεί να διαφέρουν από άτομο σε άτομο και δεν είναι πάντα αξιόπιστες. Επιπλέον, ο εν λόγω αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτούσια, είτε ως συμπληρωματικά και συνδυαστικά με άλλους παρόμοιους αλγορίθμους για την εκτίμηση του είδους και του συνολικού διαστήματος ύπνου.