



School of Electrical & Computer Engineering

Μελέτη, μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης των πεζών με γνώμονα τη βελτίωση της σταθερότητας και της άνεσης των πεζόδρομων

Study, modeling and simulation of pedestrian walk with regard to the improvement of
stability and comfort on walkways

Πάυλος Πάρις Γιακουμάκης
AM: 2013030045

Παρουσίαση διπλωματικής εργασίας - πρακτικής άσκησης στα πλαίσια του Erasmus+ στο
University of Modena & Reggio Emilia (UNIMORE)

Στόχοι

- Παραμετροποίηση βάσης δεδομένων που περιέχει έγκυρες μετρήσεις βηματισμού για 215 πεζούς
- Εξαγωγή των απαραίτητων μεταβλητών που χαρακτηρίζουν το βήμα των πεζών
- Στατιστική περιγραφή των μεταβλητών λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα δείγματα της βάσης δεδομένων
- Εξαγωγή στατιστικού μοντέλου παραμέτρων για την περιγραφή του βαδίσματος
- Ανάπτυξη ενός προσομοιωτή κίνησης βασισμένο στο στατιστικό μοντέλο – Εξαγωγή παραμέτρων βαδίσματος για ορισμένο αριθμό βημάτων

Βάση δεδομένων

- Περιέχει μετρήσεις από **2 διασχίσεις** σε έναν διάδρομο $10 \times 1\text{m}$ για δείγμα **215 πεζών** με διάφορα σωματικά χαρακτηριστικά (κανονικός ρυθμός βαδίσματος)
- Περιέχει **215×32 κελιά** – 32 ο μέγιστος αριθμός βημάτων κάθε πεζού σε 2 διασχίσεις του διαδρόμου
- Για κάθε βήμα κάθε πεζού (κελί) καταγράφονται:
 - Δύναμη που ασκείτε στο δάπεδο (*force*)
 - Χρόνος κατά τον οποίο έγινε η επαφή του ποδιού με το δάπεδο (*time*)
 - Τοποθεσία επαφής στον άξονα x και y (*x_coord*, *y_coord*)

- **time:** $70 \times 32 \times 215$ (max measurements x steps x subjects)

Times in which measurements occurred (1st dim) for each step (2nd dim) and each subject (3rd dim).

- **force:** $70 \times 32 \times 215$ (max measurements x steps x subjects)

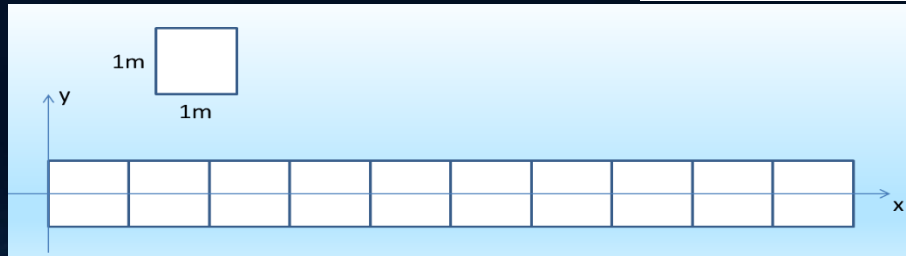
Force induced on each moment (1st dim) for each step (2nd dim) and each subject (3rd dim).

- **x_coord:** 215×32 (subjects x steps)

The step coordinates in x axis for all subjects(rows) and steps (col)

- **y_coord:** 215×32 (subjects x steps)

The step coordinates in y axis for all subjects(rows) and steps (col)



Περιγραφή αξόνων x και y

Βάση δεδομένων - παράδειγμα

215 Subjects
Empty measurements are deleted

Steps (min. 21 - max. 32)
Steps for 2 walks on the plane

	step 1	step 2	step 3	step 4	step 5	step 6	step 7	step 8	step 9		step 24	step 25	step 26	step 27	step 28	step 29	step 30	step 31	step 32
Subject 1	force time x_step y_step x y Pilot P_div	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step		force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Subject 2	force time x_step y_step x y Pilot P_div	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	...	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step
Subject 3	force time x_step y_step x y Pilot	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	...	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	[]	[]	[]
...										...									
Subject 213	force time x_step y_step x y Pilot P_div	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step		force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Subject 214	force time x_step y_step x y Pilot P_div	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	...	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Subject 215	force time x_step y_step x y Pilot	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step	force time x_step y_step		force time x_step y_step	force time x_step y_step	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Περισσότερες λεπτομέρειες στις σελ. 1-5 της αναφοράς

Εξαγωγή μεταβλητών

- Υπολογισμός των απαραίτητων μεταβλητών κάθε βήματος για τη στατιστική μοντελοποίηση του βαδίσματος βάσει των τιμών που περιέχονται στη βάση δεδομένων:
 - Χρόνος μεταξύ διαδοχικών βημάτων (Dt)
 - Μέση δύναμη που ασκείτε στο δάπεδο ανά βήμα (mean force)
 - Μήκος βήματος (length)
 - Γωνία βήματος σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα βαδίσματος (angle)
- Εξαγωγή ενοποιημένου πίνακα **X** (32x4x215)
Βήματα ← ↓ → πεζοί
Dt-meanF-length-angle

- **Interarrival time (Dt):** 215x32 (subjects x steps)
Interarrival time between each step (col) for each subject (row).
- **Mean Force:** 215x32 (subjects x steps)
Mean force induced on each step (col) for each subject (row).
- **Length of step:** 215x32 (subjects x steps)
The distance between each step
- **Angle of step:** 215x32 (subjects x steps)
The angle of each step along the gait horizontal direction

Μοντελοποίηση μεταβλητών

- Χρήση των **Gaussian Mixture Models (GMMs)**
 - Προηγούμενη έρευνα απέδειξε **μη συσχέτιση** της γωνίας βήματος (angle) με τις υπόλοιπες 3 μεταβλητές
 - **Συσχέτιση** μεταξύ Dt – Mean force – length
 - Σε κάθε πεζό προσαρμόστηκε GMM των **5 components** στις **3 μεταβλητές** καθώς και ακόμα ένα των **3 components** για τη γωνία βήματος – συνολικά 430 GMMs (215x2)
 - Τα GMMs περιγράφουν επιτυχημένα τις μεταβλητές όπως αποδείχτηκε από τη χρήση του two-sample Kolmogorov-Smirnov test
- Κάθε GMM χαρακτηρίζεται από 3 παραμέτρους:
 - **Πίνακας μέσων τιμών (mean table – mu)**: πίνακας components x variables (5x3 για τις 3 μεταβλητές ή 3x1 για τη γωνία)
 - **Mixing probability – component proportion**: array με μέγεθος όσο τα components του GMM (5 ή 3) – αθροίζεται στο 1 και περιγράφει την αναλογία κάθε component στο GMM
 - **Πίνακας συνδιασποράς (covariance matrix – Sigma)** : συμμετρικός και θετικά ημιορισμένος (positive semi-definite) πίνακας που περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών με μέγεθος variables x variables (3x3 ή 1 τιμή)

Μοντελοποίηση παραμέτρων

- **Μοντελοποίηση** των 3 παραμέτρων των GMMs προκειμένου να εξαχθεί ένα ολοκληρωμένο στατιστικό μοντέλο περιγραφής του ανθρώπινου βαδίσματος
 - Για τη μοντελοποίηση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν για ακόμα μία φορά τα GMMs
- Για τη μοντελοποίηση του **μ** :
 - Προσαρμόστηκαν ξεχωριστά GMMs για την περιγραφή του μ κάθε μεταβλητής
 - Ένα GMM για κάθε component κάθε μεταβλητής
 - Ενοποίηση και ταξινόμηση των αντίστοιχων μ προκειμένου να μην αγνοηθούν οι χαμηλές τιμές
 - Επομένως προσαρμόστηκαν 5 GMMs για κάθε μία εκ των τριών μεταβλητών D_t , $meanF$, $length$ και 3 GMMs για τη γωνία – Συνολικά **18 GMMs** για την περιγραφή του μ

Μοντελοποίηση παραμέτρων

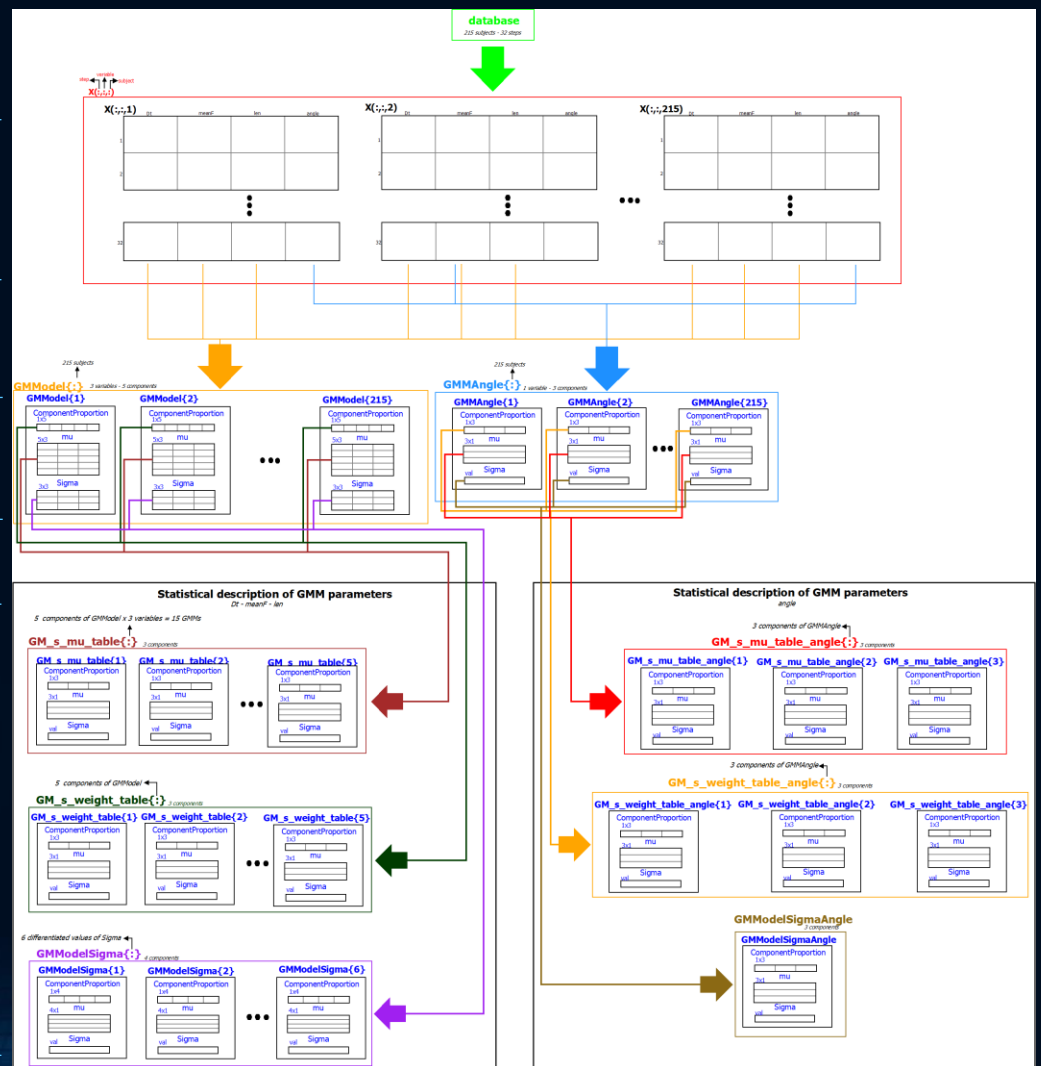
- Για τη μοντελοποίηση του **mixing probability – component proportion**:
 - Προσαρμόστηκε ένα GMM για την περιγραφή του component proportion κάθε component
 - Υπάρχει συσχέτιση με τις τιμές του μ άρα κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης του μ γίνεται αντιστοίχιση των τιμών που αναλογούν στα components
 - Επομένως προσαρμόστηκαν 5 GMMs για τις 3 μεταβλητές D_t , meanF , length και 3 GMMs για τη γωνία – Σύνολο **8 GMMs** για την περιγραφή του component proportion
- Για τη μοντελοποίηση του **Sigma**:
 - Προσαρμόστηκε ένα GMM για κάθε διαφορετική τιμή του Sigma, δηλαδή στην περίπτωση των GMMs με 3 μεταβλητές έχουμε έναν 3×3 πίνακα με 6 διαφορετικές τιμές - τη διαγώνιο του πίνακα και τις συνδιασπορές μεταξύ 1^{ης} - 2^{ης}, 1^{ης} - 3^{ης} και 2^{ης} - 3^{ης} μεταβλητής
 - Δημιουργήθηκαν ενοποιημένοι πίνακες συνδιασπορών που περιέχουν τις διαφορετικές τιμές
 - Επομένως προσαρμόστηκαν 6 GMMs για τις 3 μεταβλητές D_t , meanF , length και 1 GMM για τη γωνία – Σύνολο **7 GMMs** για την περιγραφή του Sigma

Σύνοψη μοντελοποίησης

Εξαγωγή μεταβλητών

Μοντελοποίηση μεταβλητών

Μοντελοποίηση παραμέτρων

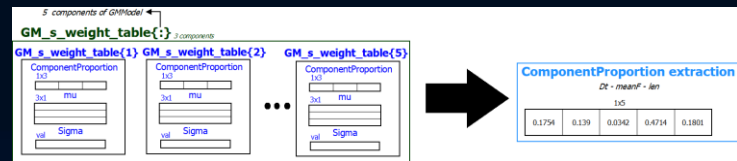
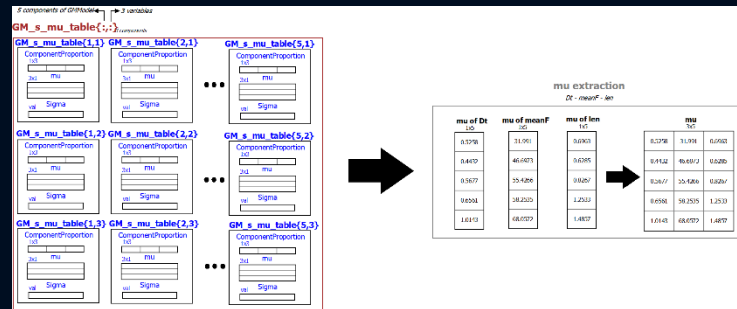


Ανάπτυξη προσομοιωτή

- Εξαγωγή των **4 μεταβλητών** για την περιγραφή ενός βαδίσματος **n** βημάτων βάση του στατιστικού μοντέλου
- Ακολουθείτε η **αντίστροφη διαδικασία** από αυτή της μοντελοποίησης
 - Παράγονται **τυχαία** οι 3 παράμετροι (μ , mixing probabilities και Σ) μέσω των GMMs που τις περιγράφουν
 - Προσαρμόζεται ένα GMM με τις 3 παραμέτρους που παράχθηκαν. Αυτό το GMM ουσιαστικά αποτελεί την **κατανομή που περιγράφει την ανθρώπινη κίνηση**
 - Χρησιμοποιώντας αυτό το GMM, παράγονται τυχαία **n sets** από **3 μεταβλητές** (D_t , meanF και length)
 - Η ίδια διαδικασία (προσαρμογή ενός ακόμα GMM) ακολουθείτε για την εξαγωγή της **γωνίας βήματος** χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα GMMs που περιγράφουν τις παραμέτρους

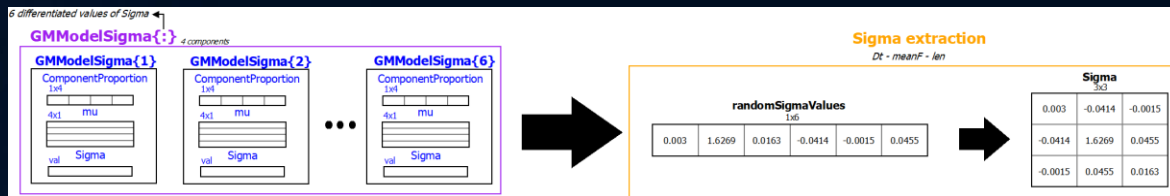
Εξαγωγή των παραμέτρων

- Εξαγωγή του πίνακα μέσων τιμών (μ)
 - Χρησιμοποιώντας τα 15 GMMs παράγονται 5 τυχαίες τιμές για κάθε μία από τις 3 μεταβλητές
 - Οι 15 παραχθείσες τιμές αποτελούν την παράμετρο μ για το GMM που περιγράφει τις 3 μεταβλητές
- Εξαγωγή του mixing probability – component proportion array:
 - Χρησιμοποιώντας τα 5 GMMs παράγονται 5 τυχαίες τιμές
 - Οι 5 παραχθείσες τιμές αποτελούν την παράμετρο mixing probability για το GMM που περιγράφει τις 3 μεταβλητές
 - Πραγματοποιείτε κανονικοποίηση των τιμών προκειμένου να αθροίζονται στο 1
 - Για την παραγωγή του μ και του mixing probability που περιγράφουν τη γωνία βήματος χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα 6 GMMs για την εξαγωγή των 3 τιμών κάθε παραμέτρου



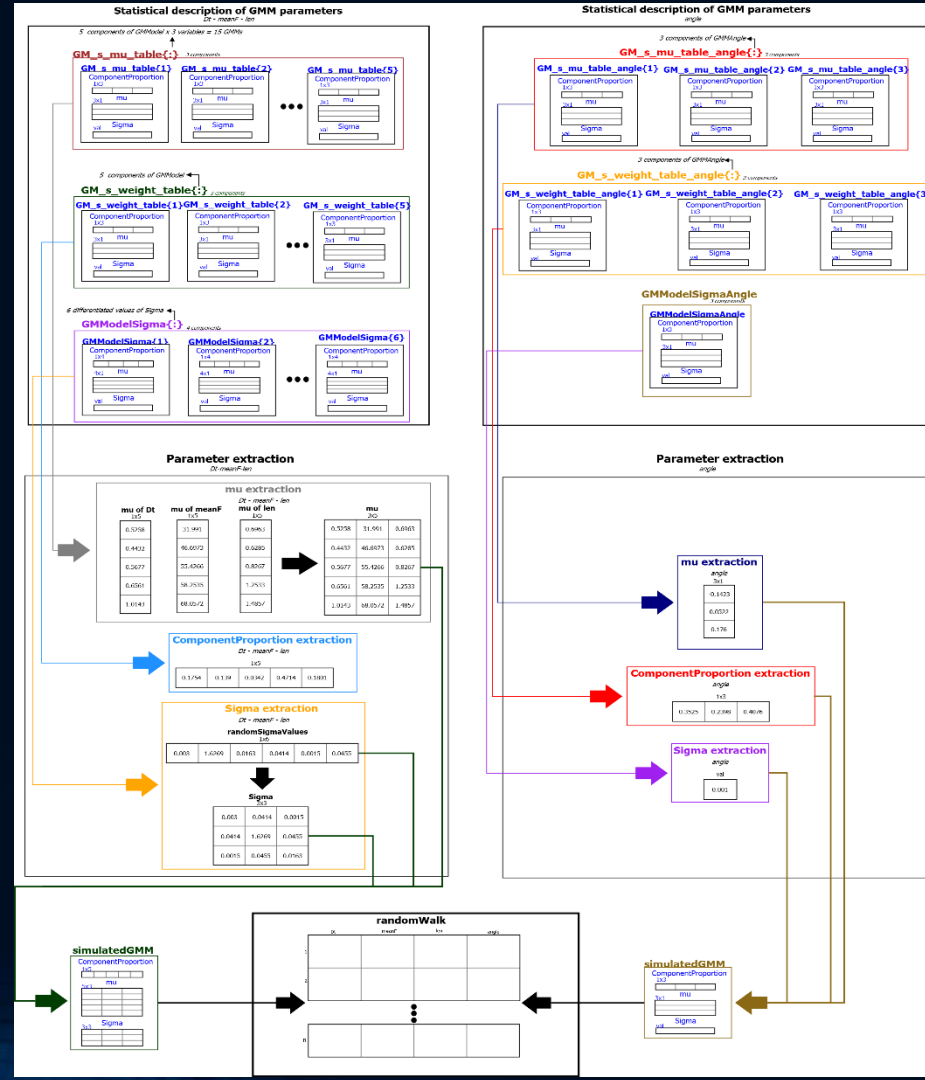
Εξαγωγή των παραμέτρων

- Εξαγωγή του **πίνακα συνδιασπορών (Sigma)**
 - Χρησιμοποιώντας τα 6 GMMs παράγονται **6 τυχαίες τιμές** για τις **3 μεταβλητές**
 - Οι τρεις πρώτες τιμές αποτελούν τη **διαγώνιο** του πίνακα, ενώ οι υπόλοιπες τρεις αποτελούν τις **συνδιασπορές** μεταξύ των τριών μεταβλητών
 - Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου παραχθεί ένας **θετικά ημιορισμένος συμμετρικός πίνακας**
 - Για την παραγωγή του Sigma που περιγράφει τη **γωνία βήματος** γίνεται χρήση του αντίστοιχου GMM



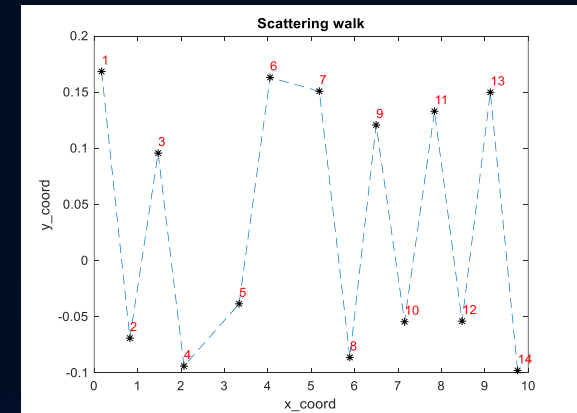
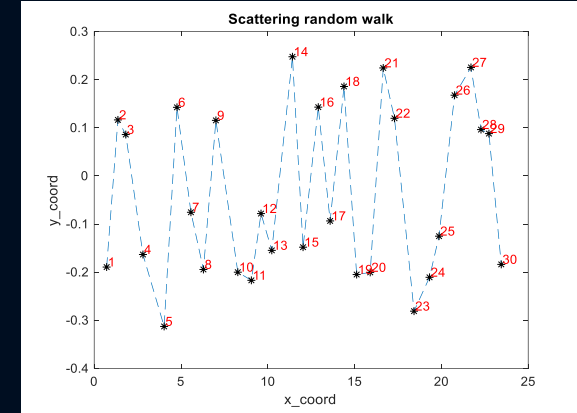
Εξαγωγή του βαδίσματος

- Δημιουργούνται **2 GMMs** βάση των παραμέτρων που παρήχθησαν
- Παράγονται **n** τυχαία sets μεταβλητών από αυτά τα GMMs (Dt, meanF και length από το 1^ο και γωνία βήματος από το 2^ο)
- Η συνένωση των sets (join) περιγράφει ένα τυχαίο βάδισμα **n** βημάτων



Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

- Τα προσομοιωμένα αποτελέσματα προσεγγίζουν αρκετά αποτελεσματικά τα πειραματικά
 - Αξιοσημείωτη διαφορά στις τιμές της μέσης δύναμης που οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ανθρώπους με διαφορετικούς σωματότυπους
 - Η μέση ταχύτητα του προσομοιωμένου βαδίσματος υπολογίστηκε περίπου 4.4 km/h τιμή που προσεγγίζει τη μέση ταχύτητα βαδίσματος σε κανονικό ρυθμό
 - Οι δύο εικόνες δεξιά δείχνουν την απεικόνιση του προσομοιωμένου βαδίσματος σε σύγκριση με ένα πειραματικό
- Πρόκειται για μία καινοτόμα προσέγγιση στο θέμα καθώς σε καμία προηγούμενη μελέτη δεν έχουν χρησιμοποιηθεί GMMs για την μοντελοποίηση του βαδίσματος. Επίσης είναι η πρώτη μελέτη που αντιλαμβάνεται την κίνηση σαν στοχαστική διαδικασία και χρησιμοποιεί τόσο μεγάλο δείγμα για τις πειραματικές μετρήσεις
- Επομένως με αυτή την προσέγγιση θα μπορούσε να παρακαμφθεί η πειραματική μέθοδος σε μελλοντικές έρευνες



Μελλοντικοί στόχοι

- Εφαρμογή του προσομοιωτή σε μία ψηφιακή πεζογέφυρα που έχει αναπτυχθεί από το τμήμα πολιτικών μηχανικών του University of Modena & Reggio Emilia προκειμένου να γίνει έρευνα για την αντιμετώπιση των ταλαντώσεων και του φαινομένου της αντήχησης
- Έκδοση επιστημονικού άρθρου που θα περιλαμβάνει αυτή τη μελέτη