



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  **$215 \times 32$  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)

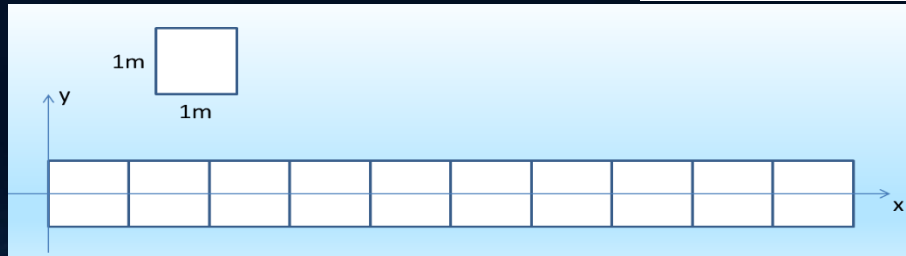
*Force induced on each moment (1st dim) for each step (2nd dim) and each subject (3rd dim).*

- **x\_coord:**  $215 \times 32$  (subjects x steps)

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

- **y\_coord:**  $215 \times 32$  (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  **$\mu$** :
  - Προσαρμόστηκαν ξεχωριστά GMMs για την περιγραφή του  $\mu$  κάθε μεταβλητής
  - Ένα GMM για κάθε component κάθε μεταβλητής
  - Ενοποίηση και ταξινόμηση των αντίστοιχων  $\mu$  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  $\mu$

# 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  $\mu$  άρα κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης του  $\mu$  γίνεται αντιστοίχιση των τιμών που αναλογούν στα components
  - Επομένως προσαρμόστηκαν 5 GMMs για τις 3 μεταβλητές  $D_t$ ,  $\text{meanF}$ ,  $\text{length}$  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 κρίσιμη τιμή του Sigma, δηλαδή στην περίπτωση των GMMs με 3 μεταβλητές έχουμε έναν  $3 \times 3$  πίνακα με 6 κρίσιμες τιμές - τη διαγώνιο του πίνακα και τις συνδιασπορές μεταξύ  $1^{\text{ης}} - 2^{\text{ης}}$ ,  $1^{\text{ης}} - 3^{\text{ης}}$  και  $2^{\text{ης}} - 3^{\text{ης}}$  μεταβλητής
  - Δημιουργήθηκαν ενοποιημένοι πίνακες συνδιασπορών που περιέχουν τις κρίσιμες τιμές
  - Επομένως προσαρμόστηκαν 6 GMMs για τις 3 μεταβλητές  $D_t$ ,  $\text{meanF}$ ,  $\text{length}$  και 1 GMM για τη γωνία – Σύνολο **7 GMMs** για την περιγραφή του Sigma



# Μοντελοποίηση $\mu$ - Λογική

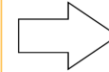
- Μοντελοποίηση μέσω τιμών των 5 components για τη μεταβλητή Dt
  - Η διαδικασία που περιγράφεται για τη μεταβλητή Dt ακολουθείτε και για τις μεταβλητές meanF, length
  - Οι τιμές κάθε 1<sup>ης</sup> στήλης του  $\mu$  αντιστοιχούν στη μέση τιμή κάθε component για τη μεταβλητή Dt
  - Μοντελοποίηση κάθε μίας εκ των 5 τιμών που περιγράφουν κάθε μεταβλητή
  - Αρχικά γίνεται αύξουσα ταξινόμηση των μέσων τιμών της μεταβλητής

GMMModel{:} 3 variables - 5 components

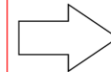
GMMModel{1}		
3x3	$\mu$	
1	0.5468	47.5699
2	0.4833	43.4949
3	0.976	45.8564
4	0.5525	45.8911
5	0.4869	48.0387
ComponentProportion		
1x5	0.2381	0.238
3x3	$\Sigma$	
1	0.0018	0.0191
2	0.0191	1.2213
3	0.0032	-0.0129
4	0.0032	-0.0129
5	0.0146	0.0146

GMMModel{2}		
3x3	$\mu$	
1	0.5367	51.688
2	0.9581	50.413
3	0.68	22.4753
4	0.5424	50.7402
5	1.0566	50.6988
ComponentProportion		
1x5	0.625	0.0417
3x3	$\Sigma$	
1	0.0016	0.0375
2	0.0375	6.8919
3	0.00059463	-0.044
4	0.00059463	-0.044
5	0.0065	0.0065

GMMModel{215}		
3x3	$\mu$	
1	0.4901	51.8569
2	0.5491	56.0912
3	0.5567	55.62
4	1	55.8091
5	0.6675	57.1842
ComponentProportion		
1x5	0.0387	0.3044
3x3	$\Sigma$	
1	0.0013	0.0262
2	0.0262	2.0829
3	-0.0028	-0.0335
4	-0.0028	-0.0335
5	0.0104	0.0104



GMMModel.mu		
3x3	$\mu$	
1	0.5468	47.5699
2	0.4833	43.4949
3	0.976	45.8564
4	0.5525	45.8911
5	0.4869	48.0387
$\mu_1$		
1	0.5367	51.688
2	0.9581	50.413
3	0.68	22.4753
4	0.5424	50.7402
5	1.0566	50.6988
$\mu_2$		
1	0.4901	51.8569
2	0.5491	56.0912
3	0.5567	55.62
4	1	55.8091
5	0.6675	57.1842



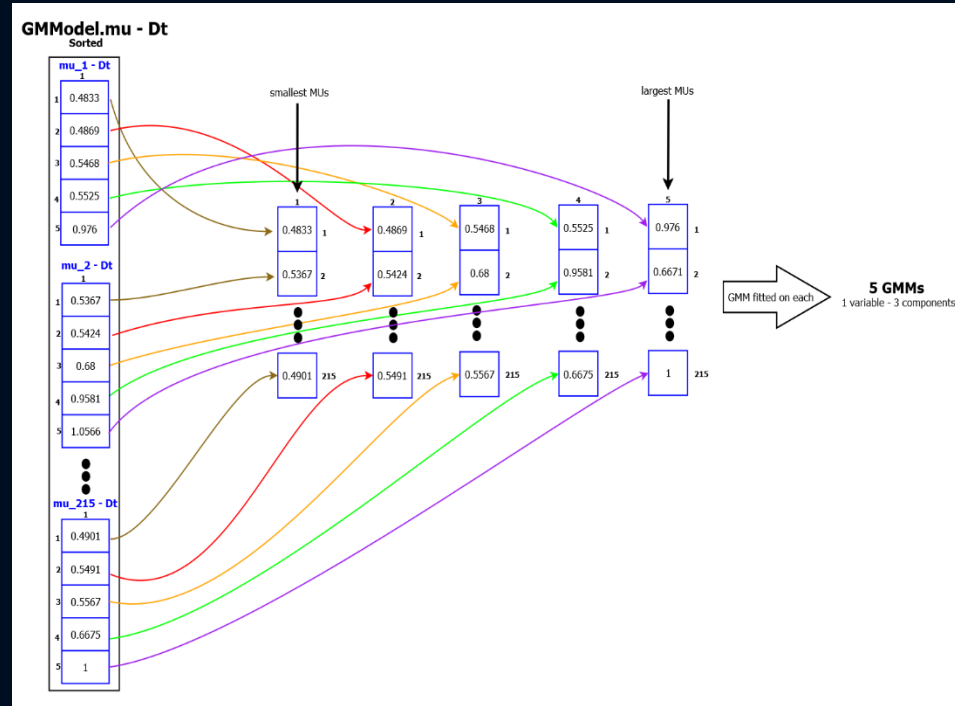
GMMModel.mu - Dt		
3x3	$\mu$	
1	0.5367	51.688
2	0.9581	50.413
3	0.68	22.4753
4	0.5424	50.7402
5	1.0566	50.6988
$\mu_1 - Dt$		
1	0.4901	51.8569
2	0.5491	56.0912
3	0.5567	55.62
4	1	55.8091
5	0.6675	57.1842



GMMModel.mu - Dt		
3x3	$\mu$	
1	0.4833	43.4949
2	0.4869	48.0387
3	0.5468	47.5699
4	0.5525	45.8911
5	0.976	45.8564
$\mu_1 - Dt$		
1	0.5367	51.688
2	0.9581	50.413
3	0.68	22.4753
4	0.5424	50.7402
5	1.0566	50.6988
$\mu_2 - Dt$		
1	0.4901	51.8569
2	0.5491	56.0912
3	0.5567	55.62
4	1	55.8091
5	0.6675	57.1842

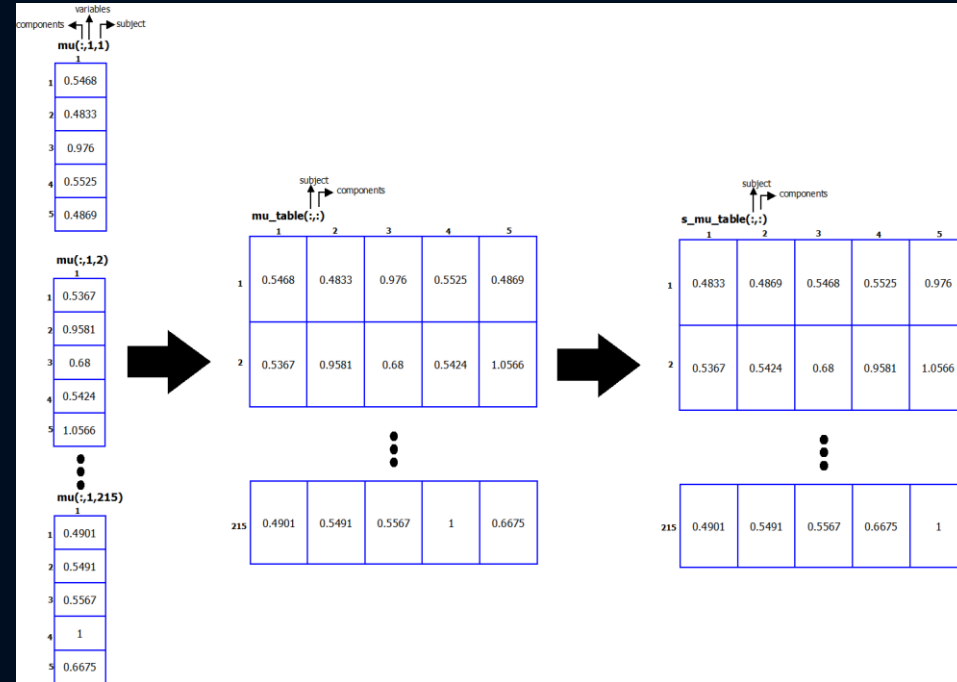
# Μοντελοποίηση $\mu$ - Λογική

- Κάθε στοιχείο κατανέμεται σε ένα αντίστοιχο array
- Δημιουργούνται 5 arrays που περιέχουν τα  $\mu$ s κάθε GMM – από τα μικρότερα ως τα μεγαλύτερα
- Προσαρμόζεται ένα GMM 3 components σε κάθε array
- Συνολικά 5 GMMs που μοντελοποιούν τα 5  $\mu$ s της μεταβλητής  $Dt$
- Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ότι οι χαμηλές τιμές των  $\mu$ s δε θα χαθούν κατά τη μοντελοποίηση
- Παρόμοια λογική μοντελοποίησης για τη γωνία – Χρήση 3 GMMs

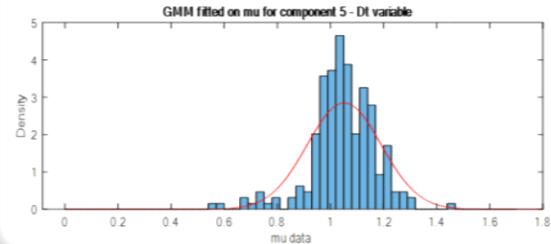
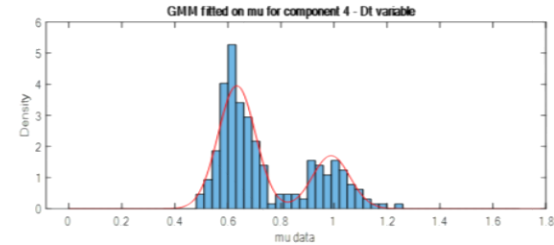
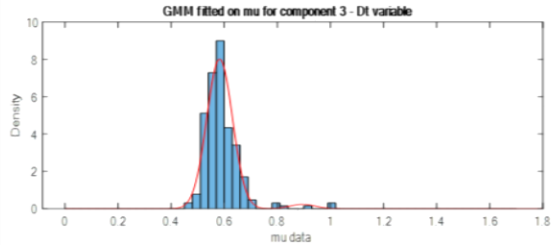
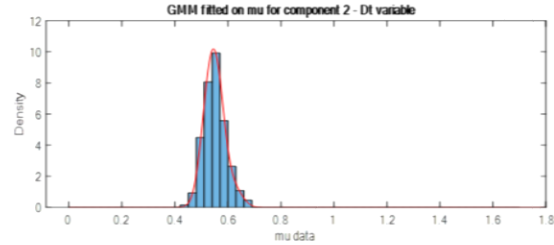
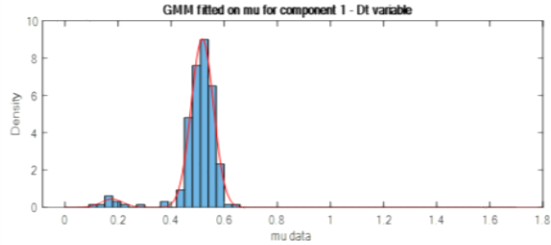


# Μοντελοποίηση $\mu$ - Υλοποίηση

- Δημιουργείτε ένα κοινό  $\mu$  table  $215 \times 5$  που περιέχει τις τιμές των  $\mu$  κάθε component για κάθε GMM (μεταβλητή Dt)
- Γίνεται αύξουσα ταξινόμηση στις γραμμές
- Προσαρμόζεται ένα GMM 3 components σε κάθε γραμμή



# Μοντελοποίηση $\mu$ - plot



# Μοντελοποίηση mixing probability - Λογική

- Κατά τη μοντελοποίηση του  $\mu$ , στο σημείο της ταξινόμησης γίνεται αντιστοίχιση με τα indexes που μεταβάλλονται κατά την ταξινόμηση
- Στη συνέχεια κάθε στοιχείο κατανέμεται σε αντίστοιχο array ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τη μοντελοποίηση του  $\mu$
- Προσαρμόζεται ένα GMM τριών components σε κάθε array – Συνολικά 5 components που μοντελοποιούν το mixing probability
- Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η αντιστοιχία με τα  $\mu$ s στην αναλογία των components
- Παρόμοια λογική μοντελοποίησης για τη γωνία – Χρήση 3 GMMs

GMMModel{:} 3 variables - 5 components

**GMMModel{1}**

3x3	mu
1	0.5468 47.5699 1.1028
2	0.4833 43.4949 0.6884
3	0.976 45.8564 0.6167
4	0.5525 45.8911 1.4806
5	0.4869 48.0387 0.7523

ComponentProportion  
1x5

0.2381 0.238 0.2381 0.2382 0.0476
-----------------------------------

3x3 Sigma

0.0018 0.0191 0.0032
0.0191 1.2213 -0.0129
0.0032 -0.0129 0.0146

**GMMModel{2}**

3x3	mu
1	0.5367 51.688 1.4107
2	0.9581 50.413 0.4895
3	0.68 22.4753 0.7793
4	0.5424 50.7402 0.7444
5	1.0566 50.6988 0.7528

ComponentProportion  
1x5

0.625 0.0417 0.0833 0.125 0.125
---------------------------------

3x3 Sigma

0.0016 0.0375 0.00059463
0.0375 6.8919 -0.0444
0.00059463 0.044 0.0065

**GMMModel{215}**

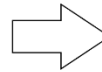
3x3	mu
1	0.4901 51.8569 0.5034
2	0.5491 56.0912 0.7042
3	0.5567 55.62 1.4044
4	1 55.8091 0.5066
5	0.6675 57.1842 1.051

ComponentProportion  
1x5

0.0387 0.3044 0.2813 0.2839 0.0917
------------------------------------

3x3 Sigma

0.0013 0.0262 -0.0028
0.0262 2.0829 -0.0335
-0.0028 -0.0335 0.0104

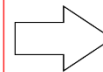


**GMMModel.mu**

3x3	mu_1	mu_2
1	0.5468 47.5699 1.1028	0.5367 51.688 1.4107
2	0.4833 43.4949 0.6884	0.9581 50.413 0.4895
3	0.976 45.8564 0.6167	0.68 22.4753 0.7793
4	0.5525 45.8911 1.4806	0.5424 50.7402 0.7444
5	0.4869 48.0387 0.7523	1.0566 50.6988 0.7528

...

1	0.4901 51.8569 0.5034
2	0.5491 56.0912 0.7042
3	0.5567 55.62 1.4044
4	1 55.8091 0.5066
5	0.6675 57.1842 1.051



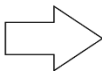
**GMMModel.mu - Dt**

mu_1 - Dt	mu_2 - Dt
1 0.5468	1 0.5367
2 0.4833	2 0.9581
3 0.976	3 0.68
4 0.5525	4 0.5424
5 0.4869	5 1.0566

Sorting mu values

**GMMModel.mu - Dt Sorted**

mu_1 - Dt	mu_2 - Dt
1 0.4833	1 0.5367
2 0.4869	2 0.5424
3 0.5468	3 0.68
4 0.5525	4 0.9581
5 0.976	5 1.0566



**GMMModel.ComponentProportion**

ComponentProportion\_1

0.2381 0.238 0.2381 0.2382 0.0476
-----------------------------------

ComponentProportion\_2

0.625 0.0417 0.0833 0.125 0.125
---------------------------------

...

ComponentProportion\_215

0.0387 0.3044 0.2813 0.2839 0.0917
------------------------------------



**GMMModel.ComponentProportion Index fixed**

CompProp\_1

1 0.2381	1 0.238
2 0.238	2 0.0476
3 0.2381	3 0.2381
4 0.2382	4 0.7389
5 0.0476	5 0.2381

CompProp\_2

1 0.625	1 0.625
2 0.417	2 0.125
3 0.0833	3 0.0833
4 0.125	4 0.417
5 0.125	5 0.125

...

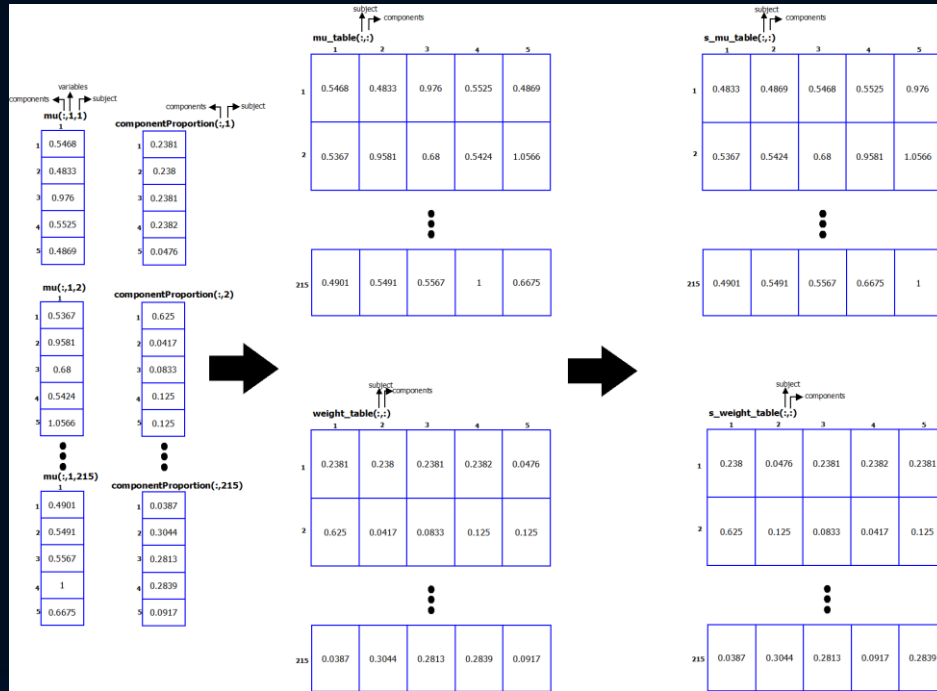
CompProp\_215

1 0.0387	1 0.0387
2 0.3044	2 0.3044
3 0.2813	3 0.2813
4 0.2839	4 0.0917
5 0.0917	5 0.2839

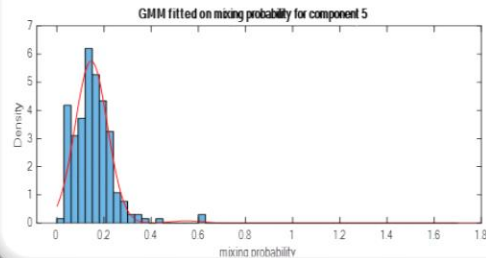
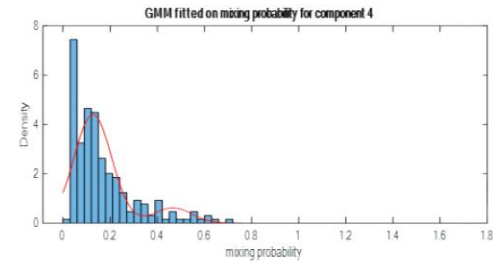
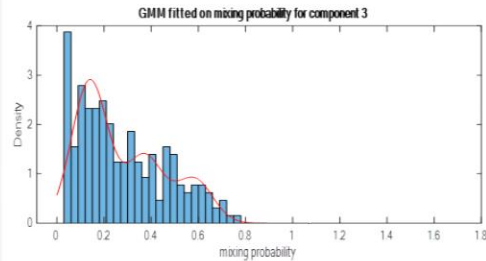
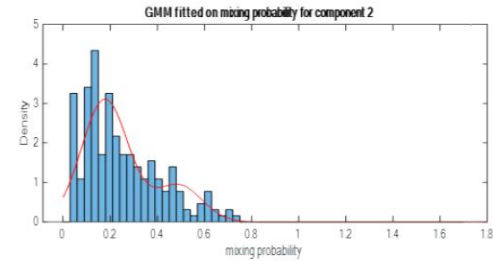
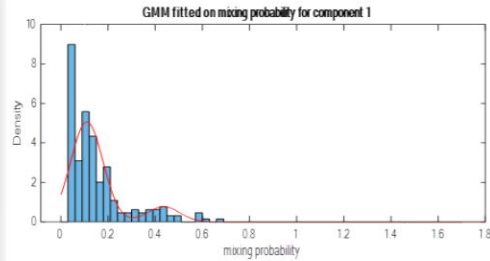


# Μοντελοποίηση mixing probability - Υλοποίηση

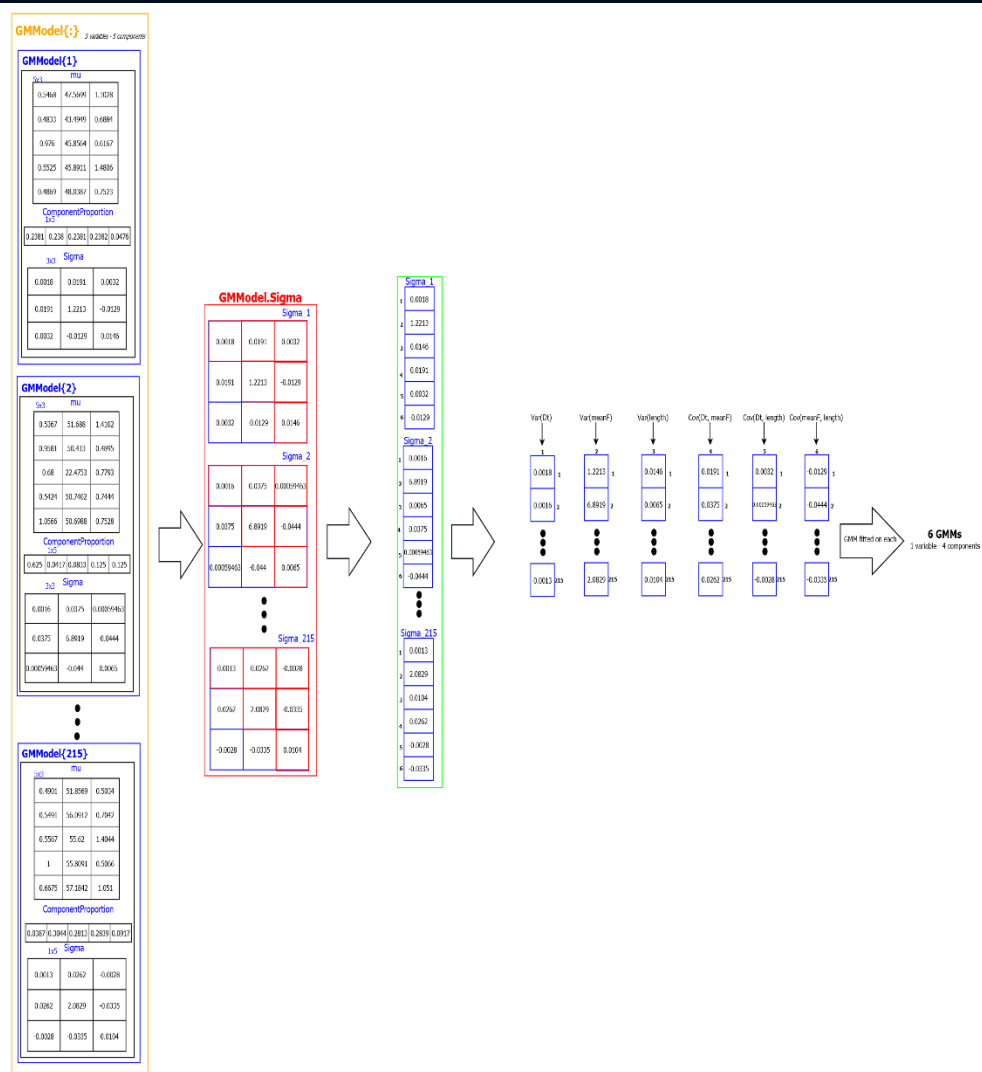
- Δημιουργείτε ένα κοινό weight table 215x5 που περιέχει τις τιμές των πιθανοτήτων κάθε component για κάθε GMM
- Γίνεται index pairing βάση της ταξινόμησης του mu
- Προσαρμόζεται ένα GMM 3 components σε κάθε γραμμή



# Μοντελοποίηση mixing probability - plot

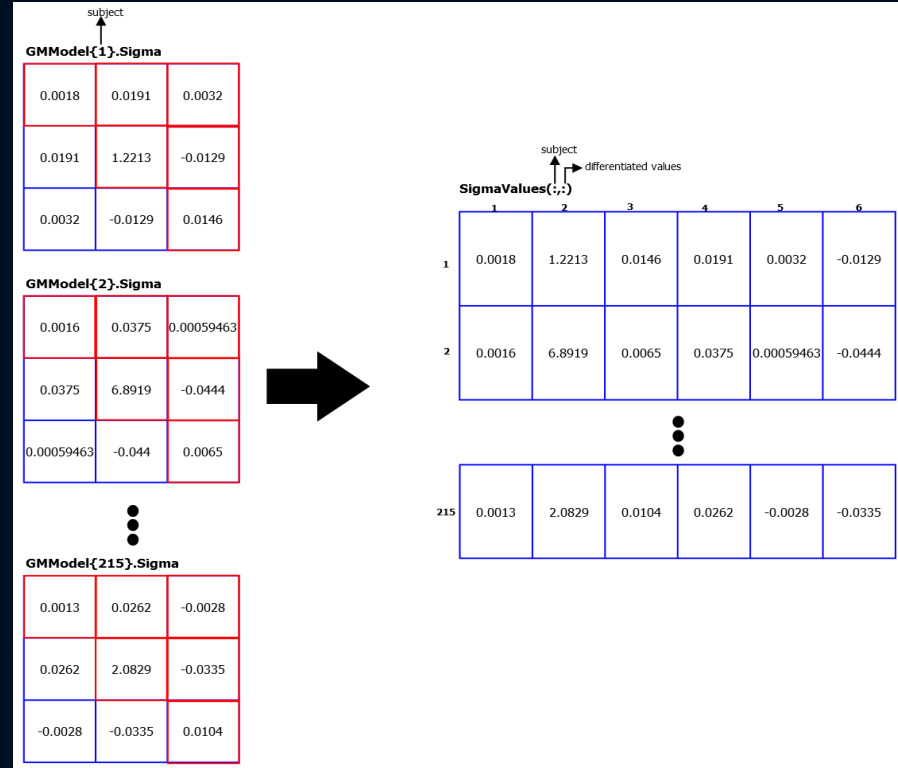


- Συμμετρικός πίνακας  $3 \times 3 - 6$  κρίσιμες τιμές
- Κάθε μία τιμή διακύμανσης αντιστοιχίζεται σε ένα array
- Προσαρμόζεται ένα GMM τεσσάρων components σε κάθε array – Συνολικά 6 GMMs που μοντελοποιούν το Sigma
- Για τη γωνία, προσαρμόζεται 1 GMM στις τιμές διακύμανσης

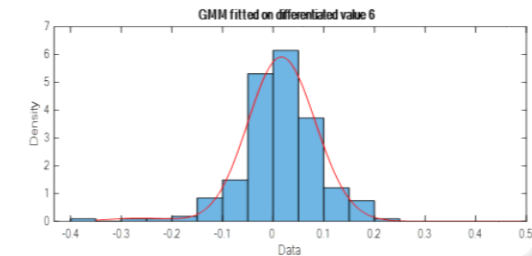
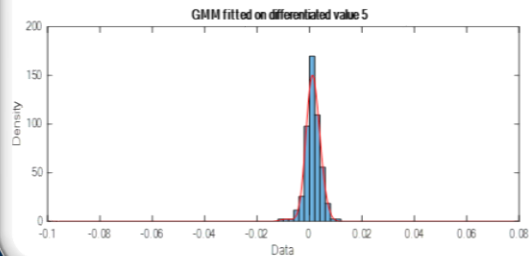
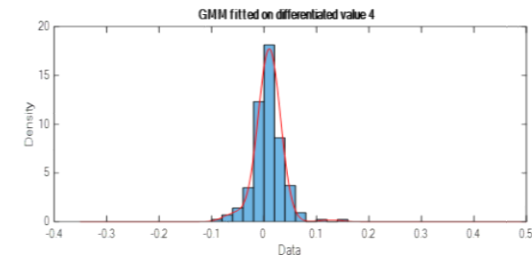
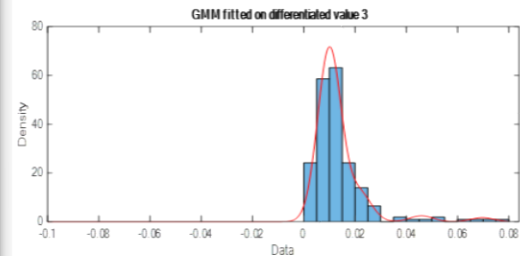
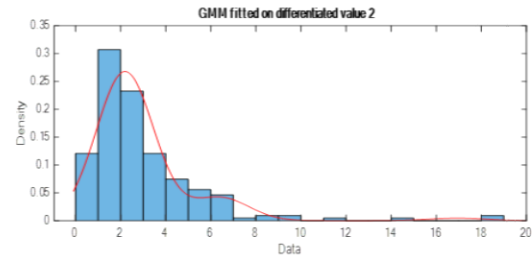
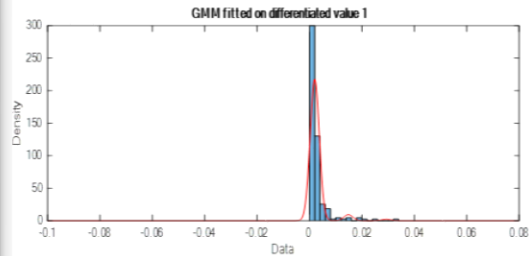


# Μοντελοποίηση Sigma - Υλοποίηση

- Δημιουργείτε ένα κοινό Sigma table 215x6 που περιέχει τις τιμές των διακυμάνσεων των μεταβλητών για κάθε GMM
- Προσαρμόζεται ένα GMM τεσσάρων components σε κάθε γραμμή



# Μοντελοποίηση Sigma- plot



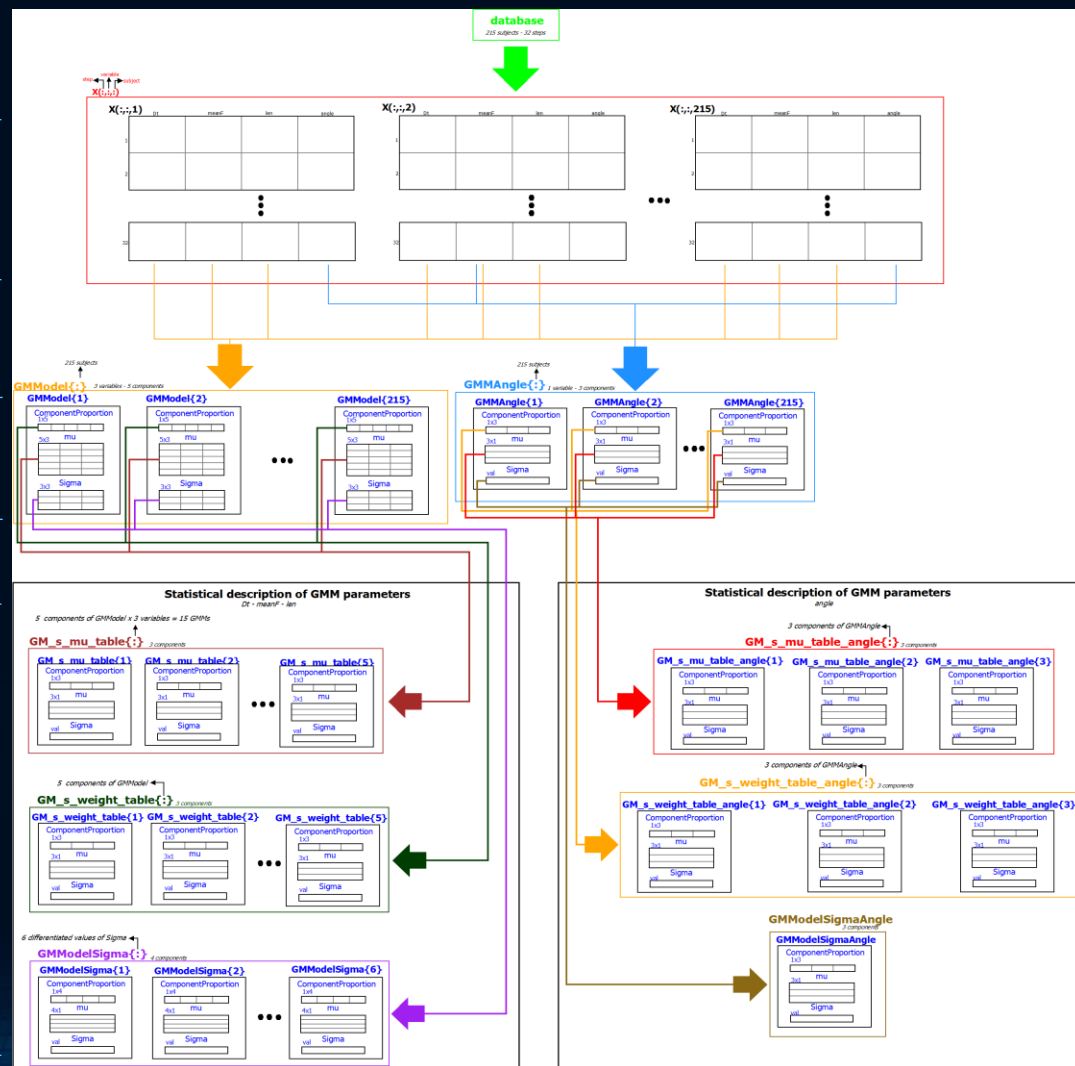


# Σύνοψη μοντελοποίησης

Εξαγωγή μεταβλητών

Μοντελοποίηση μεταβλητών

Μοντελοποίηση παραμέτρων

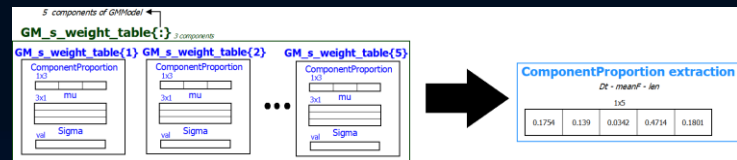
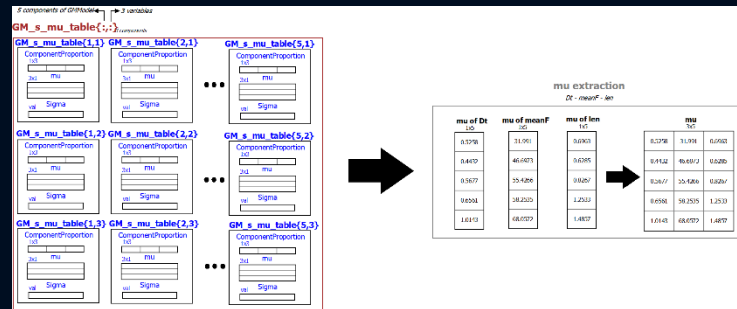


# Ανάπτυξη προσομοιωτή

- 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 ( $\mu$ , mixing probabilities και  $\Sigma$ ) 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** ( $D_t$ ,  $\text{meanF}$  και  $\text{length}$ )
  - Η ίδια διαδικασία (προσαρμογή ενός ακόμα GMM) ακολουθείτε για την εξαγωγή της **γωνίας βήματος** χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα GMMs που περιγράφουν τις παραμέτρους

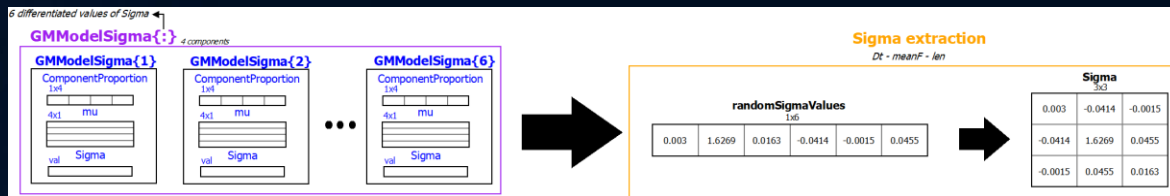
# Εξαγωγή των παραμέτρων

- Εξαγωγή του **πίνακα μέσων τιμών (mu)**
  - Χρησιμοποιώντας τα 15 GMMs παράγονται **5 τυχαίες τιμές** για κάθε μία από τις 3 μεταβλητές
  - Οι 15 παραχθείσες τιμές αποτελούν την παράμετρο **mu** 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 **mu** και του **mixing probability** που περιγράφουν τη **γωνία βήματος** χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα **6 GMMs** για την εξαγωγή των **3 τιμών** κάθε παραμέτρου



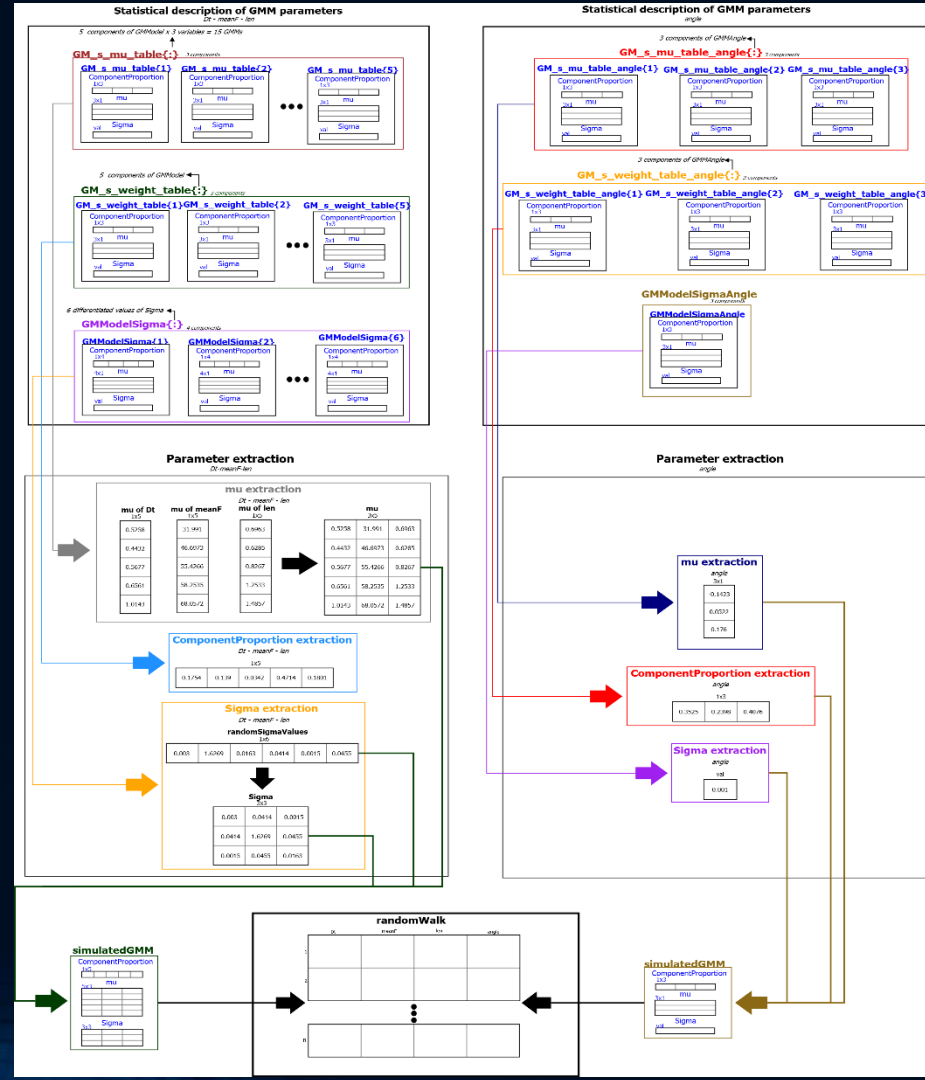
# Εξαγωγή των παραμέτρων

- 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

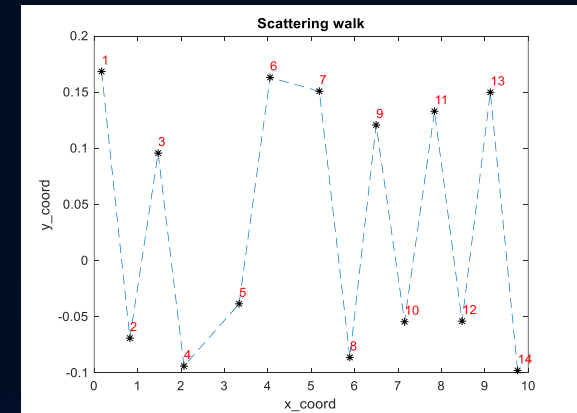
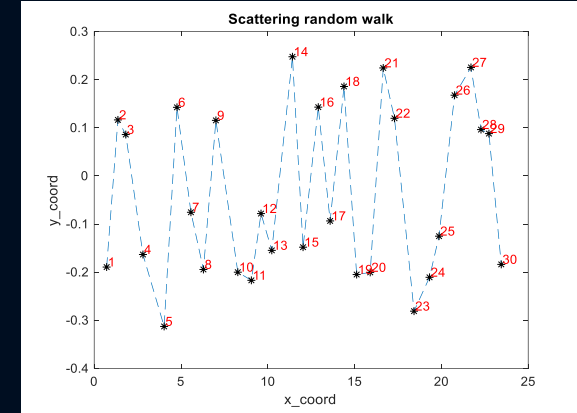
- Δημιουργούνται **2 GMMs** βάση των παραμέτρων που παρήχθησαν
- Παράγονται  **$n$**  τυχαία sets μεταβλητών από αυτά τα GMMs (Dt, meanF και length από το 1<sup>ο</sup> και γωνία βήματος από το 2<sup>ο</sup>)
- Η συνένωση των sets (join) περιγράφει ένα τυχαίο βάδισμα  **$n$**  βημάτων





# 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  $4.4 \text{ km/h}$  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