



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

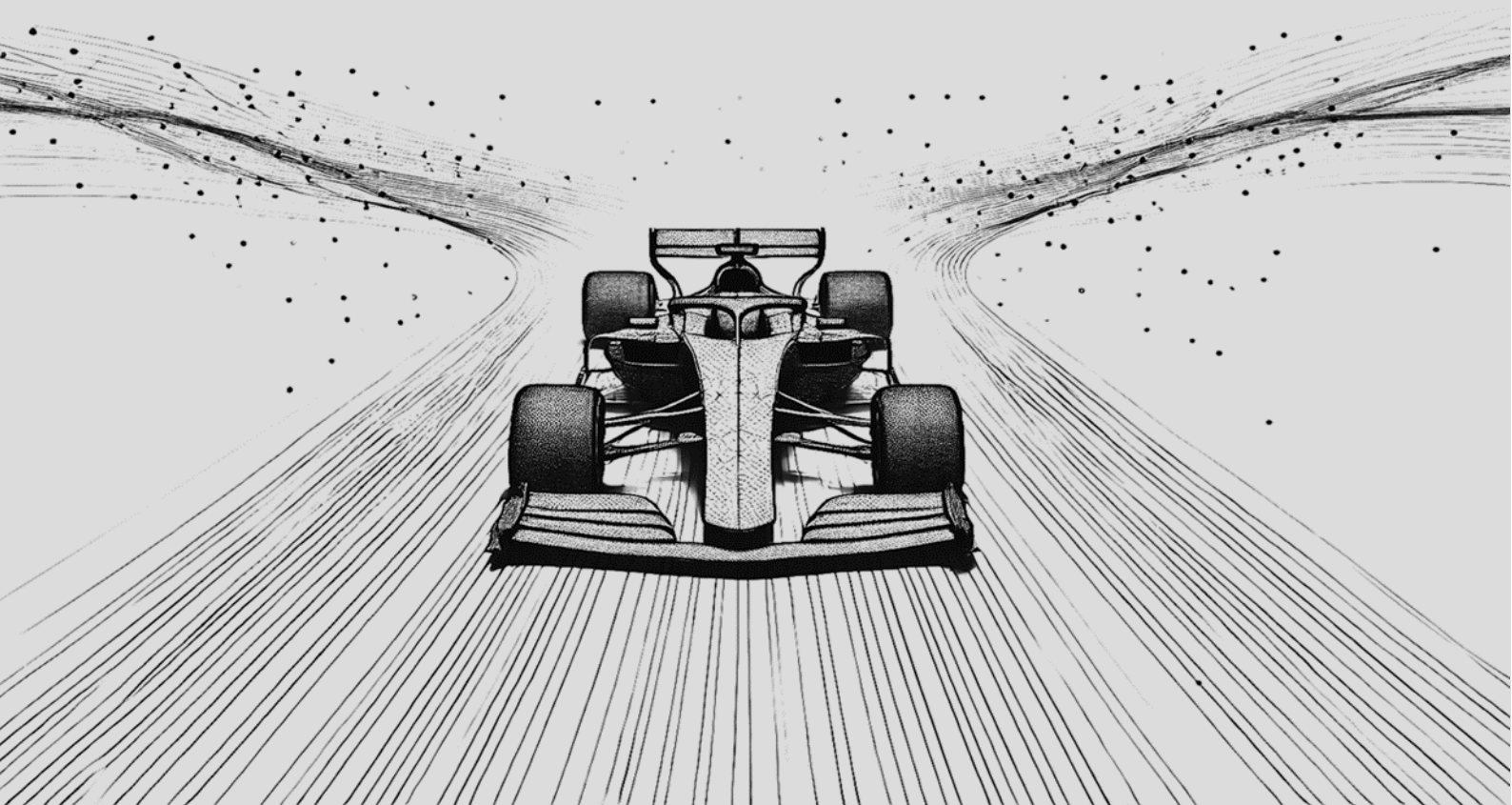
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»

Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και κατασκευή ηλεκτρονικού συστήματος υποβοήθησης για την εκμάθηση της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής σε κλειστό δρόμο διεξαγωγής αγώνων ταχύτητας

του Γεώργιου Κούλη



Επιβλέπων:

Δρ. Αγαθοκλής Κριμπένης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΛΜΕΠΙΑ

Αθήνα, 22/09/2024

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Αγαθοκλή Κριμπένη, για την καθοδήγηση, υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, τόσο προπτυχιακά όσο και μεταπτυχιακά, αλλά κυρίως για την έμπνευση που δίνει ως άνθρωπος.

Όσους από την οικογένεια και τους φίλους μου, στάθηκαν δίπλα μου σε αυτήν τη διαδρομή, με υπομονή και κατανόηση, και συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου της ζωής μου.

Όλους τους επαγγελματίες και ερασιτέχνες στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας, του μηχανοκίνητου αθλητισμού και της τεχνολογικής εξέλιξης. Χωρίς αυτούς, το αντικείμενο της παρούσας εργασίας δεν θα είχε υπάρξει.

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
2. ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
3. ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ & ΠΙΝΑΚΩΝ	8
4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
4.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
4.2. ABSTRACT.....	9
5. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	10
5.1. Τι είναι ο Μηχανοκίνητος αθλητισμός.....	10
5.2. Δρόμοι Διεξαγωγής Αγώνων Ταχύτητας.....	12
5.3. Στροφές.....	15
5.3.1. Ανατομία μιας στροφής.....	16
5.3.1.1. Το σημείο φρεναρίσματος.....	16
5.3.1.2. Η είσοδος της στροφής.....	16
5.3.1.3. Η κορυφή της στροφής.....	16
5.3.1.4. Η έξοδος της στροφής.....	17
5.3.2. Κατηγοριοποίηση στροφών.....	18
5.3.3. Ονοματοδοσία στροφών.....	20
5.3.4. Η διαφορετικότητα των ράλι.....	21
5.3.4.1. Συστήματα σημειώσεων ράλι.....	22
5.4. Αγωνιστική γραμμή.....	24
5.4.1. Η θεωρία πίσω από την αγωνιστική γραμμή.....	24
5.4.2. Η γεωμετρική αγωνιστική γραμμή.....	29
5.4.3. Η αγωνιστική γραμμή ελάχιστου χρόνου.....	30
5.4.4. Η αγωνιστική γραμμή σε βρεγμένη πίστα.....	31
5.4.5. Ταχύτητα ή Πρόσφυση;.....	31
5.4.6. Περιορισμένη ισχύς ή σπινάρωμα;.....	31
5.4.7. Στροφή & Χειρόφρενο.....	32
5.4.8. Οι αντιθέσεις στην αγωνιστική γραμμή μεταξύ MotoGP και αγώνων τεσσάρων τροχών.....	33
5.5. Δυναμική οχήματος: πέδηση, μεταφορά βάρους και πρόσφυση.....	35
5.5.1. Πέδηση.....	35
5.5.2. Μεταφορά βάρους.....	36

5.5.3.	Πρόσφυση	38
5.6.	Τεχνολογίες Αισθητήρων και Συλλογή Δεδομένων	41
5.6.1.	Η σημασία των αισθητήρων	41
5.6.2.	Επιταχυνσιόμετρα	41
5.6.3.	Δέκτες GNSS	41
5.6.4.	Γυροσκόπια	41
5.6.5.	Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων.....	42
5.6.5.1.	Βήματα Συλλογής και Επεξεργασίας.....	42
5.6.6.	Προκλήσεις και Προοπτικές	42
6.	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	44
6.1.	Υλικό	44
6.1.1.	Υπολογιστής μονής πλακέτας	44
6.1.1.1.	Ιστορικά Στοιχεία	45
6.1.1.2.	Επιλογή υπολογιστή μονής πλακέτας.....	46
6.1.2.	Δέκτης Σήματος Δορυφορικού Συστήματος Στιγματοθέτησης.....	49
6.1.2.1.	Πιστότητα και Ακρίβεια	50
6.1.2.2.	Επιλογή Δέκτη	51
6.2.	Λογισμικό.....	53
6.2.1.	Γλώσσα Προγραμματισμού	53
6.2.1.1.	Επιλογή Γλώσσας Προγραμματισμού	54
6.2.2.	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών	54
6.2.2.1.	Επιλογή Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών	55
6.2.3.	Μέθοδος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων	57
6.2.3.1.	Παράμετροι στην βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων	58
6.2.4.	Σύγκριση του Αλγορίθμου Σμήνους Σωματιδίων (PSO) με Άλλους Αλγόριθμους Βελτιστοποίησης	61
6.2.4.1.	Σε αντιπαραβολή με Γενετικούς Αλγόριθμους (GA)	61
6.2.4.2.	Σε αντιπαραβολή με Προσομοιωμένη Ανόπτηση (SA)	61
6.2.4.3.	Σε αντιπαραβολή με Διαφορική Εξέλιξη (DE)	61
6.2.4.4.	Εκτίμηση Σύγκρισης Αλγορίθμου Σμήνους Σωματιδίων	62
6.2.5.	Σύγκριση Μεθόδων Παρεμβολής: Κυβική B-spline και Γραμμική... 62	
6.2.6.	Αντιμετώπιση πηγών θορύβου GPS και Φίλτρο Kalman	64
6.2.6.1.	Πηγές Θορύβου στα Δεδομένα GPS.....	64
6.2.6.2.	Επιλογή Παραμέτρων Θορύβου	65
6.2.6.3.	Αξιολόγηση Επίδοσης του Φίλτρου Kalman.....	66

7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	68
7.1. Προετοιμασία γεωχωρικών δεδομένων	68
7.2. Εκτέλεση κώδικα	69
7.2.1. Επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων και δημιουργία ορίων πίστας..	69
7.2.2. Εκτέλεση αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων.....	70
7.2.3. Εκτέλεση 3D οπτικοποίησης	72
7.2.3.1. Δεδομένα GPS	73
7.2.3.2. Διαχείριση πίστας και γεωμετρική απόδοση.....	73
7.2.3.3. Διαχείριση κίνησης αυτοκινήτου	74
7.2.3.4. Οπτική ανατροφοδότηση μέσω HUD	74
7.2.3.5. Απόδοση σκηνής και κύριος βρόχος προσομοίωσης	74
7.3. Δυνατότητες εφαρμογής και χρήση	75
8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ .	76
8.1. Αξιολόγηση της Λειτουργίας του Συστήματος.....	76
8.2. Συμπεράσματα	76
8.3. Μελλοντικές Προεκτάσεις.....	77
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

2. ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ράλι Ακρόπολις 1966. Ο Andersson Ove και ο Dahlgren Rolf στην εκκίνηση με Lancia Fulvia Coupé HF. Φωτογραφία: John Davenport.....	11
Εικόνα 2. Μόντε Κάρλο. 14 Απριλίου 1929. Philippe Etancelin (Bugatti T35C, αριθμός 4) και "W Williams" (πραγματικό όνομα William Grover-Williams, Bugatti T35B) στην εκκίνηση. Ο "W Williams" τερμάτισε στην 1η θέση. Δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Autocar στις 19/4/1929 σελ. 793.....	13
Εικόνα 3. Η συμμετοχή #535 (μπροστά) είναι ο νικητής του Mille Miglia στις 12 Μαΐου 1957, μιας Ferrari 315 S s/n 0684 που οδηγούσε ο Πιέρο Ταρούφι. Πίσω είναι η συμμετοχή #532, επίσης μια Ferrari 315 S s/n 0674 που οδηγούσε ο Βόλφγκανγκ φον Τριπς και τερμάτισε στη 2η θέση. [2].....	14
Εικόνα 4. Formula 1 Grand Prix du Canada 2008, γύρος 1, στροφή 2. Μία σπάνια για το Καναδικό GP καθαρή εκκίνηση. [4]	15
Εικόνα 5. Ανατομία μιας στροφής. Κόκκινο: Σημείο φρεναρίσματος. Κίτρινο: Είσοδος στροφής. Γκρι: Κορυφή στροφής. Πράσινο: Έξοδος στροφής.	16
Εικόνα 6. Μονοθέσιο της Formula (Austria 2022, Lewis Hamilton N. 44), που έχει χάσει το σημείο φρεναρίσματος, αναγκάζεται να φρενάρει πιο έντονα ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να στρίψει προς την κορυφή της στροφής. Το αποτέλεσμα θα είναι μια αργή έξοδος από την στροφή αλλά και πολύς χαμένος χρόνος εντός αυτής.	17
Εικόνα 7. Στροφή σταθερής ακτίνας Parabolica, Monza	18
Εικόνα 8. Στροφή αυξανόμενης ακτίνας La Caixa Corner, Circuit de Catalunya .	18
Εικόνα 9. Στροφή μειούμενης ακτίνας Turn 1 & 2, Shanghai International Circuit	19
Εικόνα 10. Υψηλής ταχύτητας "S" (εξ) Pflanzgarten II, Nürburgring Nordschleife	19
Εικόνα 11. Μέσης ταχύτητας "S" (εξ) S do Sena, Sao Paulo Brazil	19
Εικόνα 12. Σικέιν Nouvelle Chicane, Monaco	20
Εικόνα 13. Φουρκέτα The Fairmont Hairpin, Monaco	20
Εικόνα 14. Γεωμετρική ανάλυση στροφής.	27
Εικόνα 15. Η σκούρα γραμμή είναι η γεωμετρικά βέλτιστη αγωνιστική γραμμή. ..	29
Εικόνα 16. Ανατομία μιας στροφής με αγωνιστική γραμμή ελάχιστου χρόνου. Κόκκινο: Σημείο φρεναρίσματος. Κίτρινο: Είσοδος στροφής. Γκρι: Καθυστερημένη κορυφή στροφής. Πράσινο: Έξοδος στροφής.	30
Εικόνα 17. Το BBC Micro.....	46
Εικόνα 18. Το Raspberry Pi 4 B. [23].....	47
Εικόνα 19. Μηχανολογικό σχέδιο του Raspberry Pi 4 B.....	48
Εικόνα 20. Ηλεκτρικό διάγραμμα τροφοδοσίας μέσω θύρας USB-C.	48
Εικόνα 21. Δέκτης GNSS100L.	51
Εικόνα 22. GNSS Chip UBX-M8030-KT.	51
Εικόνα 23. Ακροδέκτες USB.	52
Εικόνα 24 Ένα συντομευμένο παράδειγμα ενός πλήρους αρχείου OSM XML. [31]	56
Εικόνα 25. map.png.....	68
Εικόνα 26. Μέρος αρχείου map.osm που αναφέρει τα όρια του χάρτη.....	69
Εικόνα 27. Ορισμός σημείων διαδρομής.....	69
Εικόνα 28. Δείγμα εκτέλεσης του κώδικα για την καταγραφή των σημείων.	70

Εικόνα 29. Τα ενωμένα με παρεμβολή σημεία της διαδρομής.	70
Εικόνα 30. Τα τμήματα της πίστας.	71
Εικόνα 31. Η αγωνιστική γραμμή.....	72
Εικόνα 32. Η αγωνιστική γραμμή σε πίστα δημιουργημένη με κυβικές b-splines.	72
Εικόνα 33. Η αγωνιστική γραμμή.....	73
Εικόνα 34. Η αγωνιστική γραμμή με ορατό το HUD (7 πράσινοι κύκλοι).	74

3. ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ & ΠΙΝΑΚΩΝ

Διάγραμμα 1. Χρονικό διάγραμμα σημαντικών σταθμών στην ιστορία του μηχανοκίνητου αθλητισμού.	10
Διάγραμμα 2. Σχέση μεταξύ της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας V και της ακτίνας της στροφής r . Η μέγιστη ταχύτητα αυξάνεται όταν η ακτίνα μεγαλώνει.	25
Διάγραμμα 3. Σχέση μεταξύ της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας V και της καμπυλότητας της γραμμής k . Η μέγιστη ταχύτητα μειώνεται όταν η καμπυλότητα μεγαλώνει.	25
Διάγραμμα 4 Κατάταξη γλωσσών προγραμματισμού σύμφωνα με το Redmonk με στοιχεία από το Github και το Stack Overflow. [29].....	53
Διάγραμμα 5. Διάγραμμα ροής αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων	60
Διάγραμμα 6. Διάγραμμα ροής Φίλτρου Kalman. Δείχνει τη βασική δομή του αλγορίθμου και τα κύρια στάδια της διαδικασίας.	67
Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση Σιρκουί [3].....	14
Πίνακας 2 Συντελεστές πρόσφυσης μt [20].....	39
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά SBC Raspberry Pi 4 B	47
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά δέκτη GNSS100L.	52
Πίνακας 5. Διάταξη και περιγραφή ακροδεκτών USB.	52

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η έρευνα σχετικά με τις δυνατότητες σχεδιασμού και κατασκευής ενός χαμηλού κόστους ηλεκτρονικού συστήματος υποβοήθησης για την εκμάθηση της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας στηρίζεται στα υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την αναζήτηση της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής με στόχο την βέλτιστη απόδοση του οδηγού σε ένα δεδομένο όχημα.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που επιλέχθηκε βασίζεται σε έναν μικροϋπολογιστή ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα που λαμβάνονται από αισθητήρες εκτελώντας αλγορίθμους σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

4.2. ABSTRACT

The aim of this project is research on the design and construction capabilities of a low-cost electronic assistance system for learning optimal racing lines.

The theoretical background of this work is based on the existing research data on the optimal racetrack aiming at optimal performance of the driver in a specific vehicle.

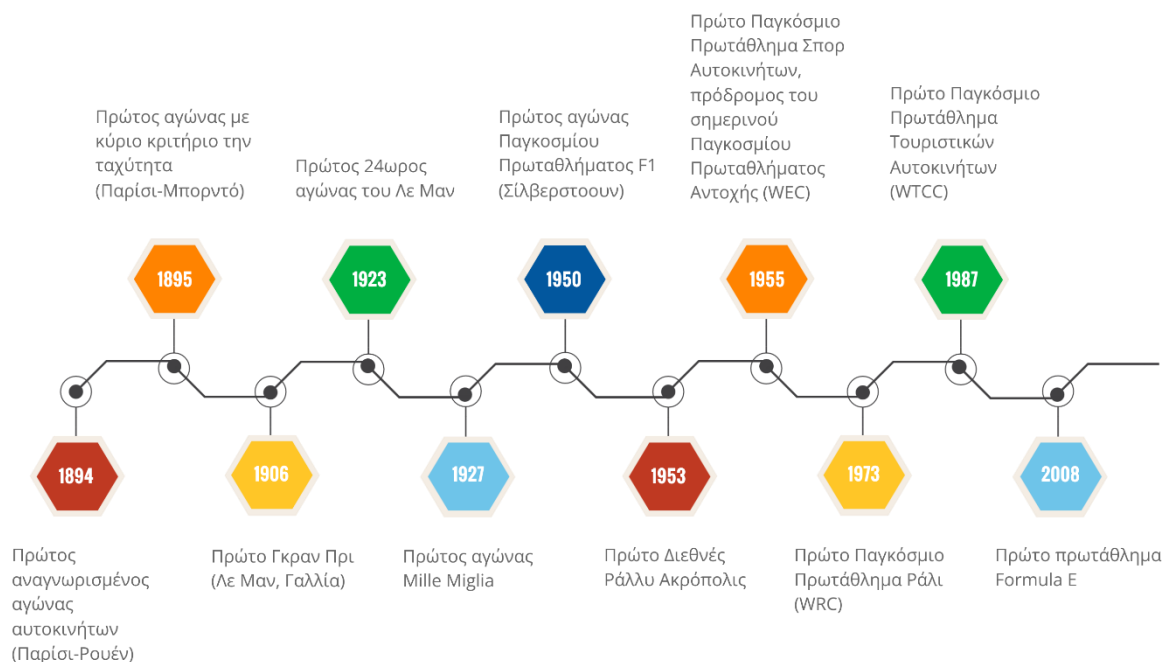
The methodological approach chosen is based on a microcomputer that processes the data received from sensors by running algorithms in Python programming language.

5. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

5.1. Τι είναι ο Μηχανοκίνητος αθλητισμός

Ο μηχανοκίνητος αθλητισμός είναι ένας όρος ομπρέλα για πολλούς διαφορετικούς τύπους αγώνων μηχανοκίνητων οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων μοτοσικλετών, αεροπλάνων και μηχανοκίνητων σκαφών), αλλά συνήθως συνδέεται με το αυτοκίνητο. Οργανωτικά, ο μηχανοκίνητος αθλητισμός είναι ποικιλόμορφος.

Οι κατηγορίες κυμαίνονται από «μονοθέσια» «ανοιχτά» αυτοκίνητα που χρησιμοποιούνται σε σειρές όπως η Formula 1 (F1) και το IndyCar, έως «πολυθέσια» «κλειστά» αυτοκίνητα όπως η Εθνική Ένωση Αγώνων Στοκ Αυτοκινήτων (NASCAR) και το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Ράλι (WRC). Μακριά από το ελίτ επίπεδο υπάρχουν πολλοί υπο-κλάδοι με διαφορετικές μάρκες αυτοκινήτων, μοντέλα, προδιαγραφές και κανόνες, συμπεριλαμβανομένου του καρτ που παρέχει στην πλειοψηφία των νεαρών αγοριών και κοριτσιών την πρώτη τους εμπειρία στον μηχανοκίνητο αθλητισμό.



Διάγραμμα 1. Χρονικό διάγραμμα σημαντικών σταθμών στην ιστορία του μηχανοκίνητου αθλητισμού.

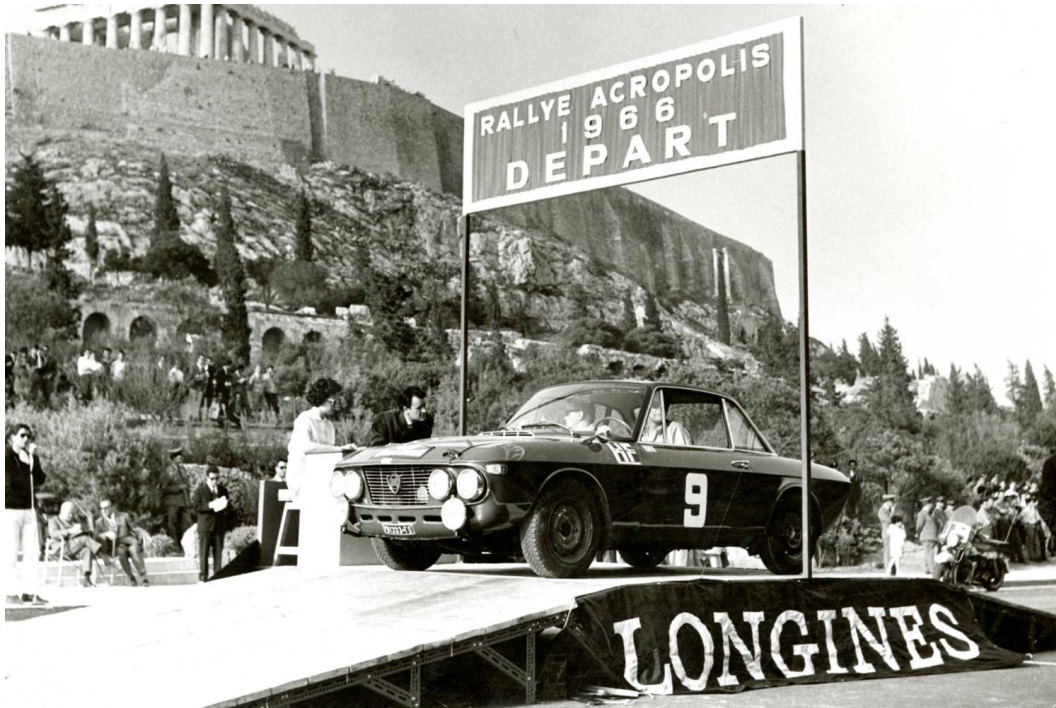
Ο μηχανοκίνητος αθλητισμός ξεκίνησε το 1894 με μια διαδρομή αξιοπιστίας από το Παρίσι στη Ρουέν και ο πρώτος αναγνωρισμένος αγώνας, όπου η ταχύτητα ήταν σημαντικό κριτήριο παράλληλα με την αξιοπιστία του οχήματος και τις ικανότητες του οδηγού, διεξήχθη το 1895 από το Παρίσι στο Μπορντό.

Η Γαλλία ήταν πρωτοπόρα δύναμη στα πρώτα χρόνια της αυτοκινητοβιομηχανίας, οπότε ήταν φυσικό να είναι η πρώτη που θα προωθούσε τους αγώνες αυτοκίνησης. Η Αμερική ωστόσο δεν ήταν πολύ πίσω και το 1899 ο James Gordon Bennett πρότεινε στην Αυτοκινητιστική Λέσχη της Γαλλίας ένα τρόπαιο για το οποίο θα αγωνίζονταν

ετησίως οι λέσχες αυτοκινήτων διαφόρων χωρών. Το τρόπαιο αυτό απονεμόταν μέχρι το 1905. Τότε οι Γάλλοι ένωσαν ότι οι κατασκευαστές τους περιορίζονταν από τους κανόνες του Gordon Bennett, οι οποίοι επέτρεπαν μόνο τρία αυτοκίνητα να αντιπροσωπεύουν κάθε χώρα.

Οι Γάλλοι λοιπόν ξεκίνησαν τον δικό τους αγώνα αυτοκινήτων, με τους δικούς τους κανόνες, το 1906, όταν πραγματοποίησαν τον πρώτο αναγνωρισμένο αγώνα Grand Prix. Κάθε χρόνο επιχειρούσαν να επιτύχουν τη συμφωνία όλων των ανταγωνιστικών χωρών κατά την σύνταξη των κανόνων, και έτσι δημιουργήθηκε μια διεθνής επιτροπή με έδρα το Παρίσι, υπό την ηγεσία της Λέσχης Αυτοκινήτου της Γαλλίας. Μέχρι το 1914 το Γκραν Πρι της Αυτοκινητιστικής Λέσχης της Γαλλίας ήταν το μοναδικό.

Στην Ελλάδα ο μηχανοκίνητος αθλητισμός ήρθε με αρκετά χρόνια καθυστέρηση. Οι πρώτες σοβαρές προσπάθειες για διεξαγωγή αγώνων υπήρξαν μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Το 1952, η Ελληνική Λέσχη Περιηγήσεων και Αυτοκινήτου (ΕΛΠΑ) διοργάνωσε ένα πανελλήνιο ράλι «Ράλλυ ΕΛΠΑ» που ξεκινούσε και τελείωνε στην Αθήνα και περιλάμβανε αρκετές ειδικές διαδρομές ενσωματωμένες σε δύσκολα οδικά τμήματα. Πριν το τέλος της χρονιάς αποφασίστηκε το ράλι να γίνει διεθνές και μετονομάστηκε σε «Ράλλυ Ακρόπολις». Το «1ο Διεθνές Ράλλυ Ακρόπολις», διοργανώθηκε από τις 29 έως τις 31 Μαΐου 1953. Το 1956, το «4ο Διεθνές Ράλλυ Ακρόπολις» συμπεριλήφθηκε στο Ευρωπαϊκό Πρωτάθλημα Ράλι. Αυτή είναι η χρονιά που το ράλι απέκτησε τον πλήρη διεθνή χαρακτήρα του. Από το 1973 συμπεριλαμβάνεται στο παγκόσμιο πρωτάθλημα οδηγών και στο παγκόσμιο πρωτάθλημα κατασκευαστών του Παγκοσμίου Πρωταθλήματος Ράλι. [1]



Εικόνα 1. Ράλι Ακρόπολις 1966. Ο Andersson Ove και ο Dahlgren Rolf στην εκκίνηση με Lancia Fulvia Coupé HF. Φωτογραφία: John Davenport

5.2. Δρόμοι Διεξαγωγής Αγώνων Ταχύτητας

Οι δρόμοι που φιλοξενούν αγώνες ταχύτητας αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο του μηχανοκίνητου αθλητισμού, παρέχοντας ένα ελεγχόμενο περιβάλλον στο οποίο οι οδηγοί μπορούν να αγωνιστούν με οχήματα υψηλών επιδόσεων, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τον κίνδυνο για τους θεατές και τους συμμετέχοντες.

Οι πίστες διακρίνονται για την ποικιλομορφία τους ως προς το μήκος, τη χάραξη, την επιφάνεια και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, όπως οι στροφές, οι ευθείες και οι ανηφορικές ή κατηφορικές διαδρομές, τα οποία προσφέρουν ποικίλες προκλήσεις, ώστε να δοκιμάζουν τις ικανότητες των οδηγών και να ωθούν τα οχήματα στα μέγιστα όριά τους.

Επιπλέον, οι πίστες λειτουργούν ως κόμβοι καινοτομίας, έρευνας και οικονομικής ανάπτυξης, αποτελώντας ουσιαστικό μέρος του οικοσυστήματος της αυτοκινητοβιομηχανίας. Παρέχουν στους μηχανικούς και στις κατασκευάστριες ομάδες πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των οχημάτων, τον σχεδιασμό των ελαστικών, την αεροδυναμική και την αντοχή των εξαρτημάτων υπό ακραίες συνθήκες. Καθίστανται, έτσι, πλατφόρμες δοκιμών για την ανάπτυξη τεχνολογιών που τελικά βρίσκουν εφαρμογή και στα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.

Οι πίστες αυτές διακρίνονται σε ανοιχτές και κλειστές διαδρομές. Στις ανοιχτές διαδρομές, η γραμμή εκκίνησης και τερματισμού είναι διαφορετική και η πίστα διανύεται μία μόνο φορά, ενώ οι κλειστές διαδρομές – οι οποίες είναι πιο διαδεδομένες – απαιτούν επαναλαμβανόμενη οδήγηση της ίδιας διαδρομής από δύο ή περισσότερα οχήματα που αγωνίζονται ταυτόχρονα. Οι κλειστές αυτές πίστες είναι γνωστές ως σιρκουί (circuit).

Περαιτέρω διάκριση γίνεται μεταξύ μόνιμων και προσωρινών σιρκουί. Οι προσωρινές πίστες είναι διαδρομές που δημιουργούνται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως για μια συγκεκριμένη διοργάνωση ή αγώνα, σε αντίθεση με τις μόνιμες πίστες, οι οποίες είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες για να φιλοξενούν αγώνες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι προσωρινές πίστες εγκαθίστανται συχνά σε υπάρχοντες δρόμους ή δημόσιους χώρους, συχνά σε αστικά περιβάλλοντα, και προσφέρουν μοναδικές προκλήσεις στους οδηγούς, όπως στενές στροφές, μεταβλητές επιφάνειες και στενά περάσματα.

Οι προσωρινές πίστες συχνά χρησιμοποιούνται σε διεθνείς αγώνες όπως η Formula 1, καθώς προσδίδουν ένα επιπρόσθετο στοιχείο πρόκλησης και θεάματος, εξαιτίας των περιορισμών που επιβάλλει η ίδια η πόλη και οι υποδομές της. Η κατασκευή και αποξήλωση αυτών των διαδρομών γίνεται με σχετική ταχύτητα, καθιστώντας τις κατάλληλες για μεμονωμένες διοργανώσεις ή αγώνες μηχανοκίνητου αθλητισμού. Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα προσωρινής πίστας είναι το σιρκουί του Μονακό, που διασχίζει τους δρόμους της πόλης.



Εικόνα 2. Μόντε Κάρλο. 14 Απριλίου 1929. Philippe Etancelin (Bugatti T35C, αριθμός 4) και "W Williams" (πραγματικό όνομα William Grover-Williams, Bugatti T35B) στην εκκίνηση. Ο "W Williams" τερμάτισε στην 1η θέση. Δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Autocar στις 19/4/1929 σελ. 793.

Ένα σιρκουί μπορεί να χρησιμοποιηθεί δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν περισσότερες στροφές προς τα δεξιά ενώ στην δεύτερη προς τα αριστερά. Από την άποψη της κατεύθυνσης της διαδρομής, η διαφορά γωνίας είναι ακριβώς 360°.

Το μήκος μιας πίστας μπορεί να διαφέρει πολύ. Οι πίστες καρτ έχουν μήκος μόνο περίπου ένα χιλιόμετρο, ενώ οι πίστες για αυτοκίνητα τουρισμού και αγώνες Φόρμουλα 1 έχουν συνήθως μήκος μεταξύ 3,5 και 7 χιλιομέτρων. Οι μεγαλύτερες διαδρομές έχουν μήκος 20 έως 25 χιλιόμετρα, ανάλογα με την παραλλαγή της διαδρομής, όπως η πίστα Nordschleife του Nürburgring γνωστή και ως "The Ring" ή "The Green Hell", όπως την ονόμασε ο Jackie Stewart, ο θρύλος των αγώνων ταχύτητας, στην οποία τερμάτισε 3 φορές στην πρώτη θέση. Η πίστα βρίσκεται μέσα σε ένα πυκνό δάσος στα βουνά της περιοχής Ahrweiler στο κρατίδιο της Ρηνανίας-Παλατινάτο, με πολλές στροφές και υψομετρικές αλλαγές.

Η μεγαλύτερη πίστα στην οποία διεξήχθησαν αγώνες με διεθνή βαθμολογία στη μεταπολεμική περίοδο ήταν η Targa Florio στη Σικελία με μήκος γύρου πάνω από 70 km. Η μεγαλύτερη διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για αγώνες αυτοκινήτων ήταν το Mille Miglia, ένα «τριγωνικό» σιρκουί δημόσιων δρόμων στην Ιταλία (Μπρέσια-Ρώμη-Μπρέσια), μήκους περίπου 1.600 χιλιομέτρων, η οποία περνούσε μόνο μία φορά από κάθε μέρος ανά αγώνα.



Εικόνα 3. Η συμμετοχή #535 (μπροστά) είναι ο νικητής του Mille Miglia στις 12 Μαΐου 1957, μιας Ferrari 315 S s/n 0684 που οδηγούσε ο Πιέρο Ταρούφι. Πίσω είναι η συμμετοχή #532, επίσης μια Ferrari 315 S s/n 0674 που οδηγούσε ο Βόλφγκανγκ φον Τριπς και τερμάτισε στη 2η θέση. [2]

Κατηγοριοποίηση Σιρκουί

Κατεύθυνση	Δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα (ή σε σχήμα οκτώ)
Χάραξη	Οι διαδρομές του δρόμου έχουν αλληπάλληλες δεξιές και αριστερές στροφές, ενώ οι οβάλ διαδρομές αποτελούνται μόνο από τέσσερις αριστερές ή τέσσερις δεξιές στροφές το πολύ.
Κάλυψη επιφάνειας	Άσφαλτος, σκυρόδεμα, γρασίδι, χώμα, άμμος, χαλίκι
Χρήση	Αγώνες φόρμουλας, αγώνες τουριστικών αυτοκινήτων, αγώνες σπορ αυτοκινήτων, αγώνες μοτοσικλετών, αγώνες καρτ, μοτοκρός, ράλι κρος κ.λπ.
Περίοδος χρήσης	Τα προσωρινά σιρκουί, όπως τα σιρκουί πόλεων ή τα σιρκουί αεροδρομίων, χρησιμοποιούνται μόνο προσωρινά, ενώ τα μόνιμα σιρκουί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή.

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση Σιρκουί [3]

5.3. Στροφές

Στον μηχανοκίνητο αθλητισμό, στροφή είναι μία αλλαγή κατεύθυνσης στην διαδρομή της πίστας. Ωστόσο όλες οι στροφές δεν είναι ίδιες· μπορεί να διαφέρουν σε σχήμα, ταχύτητα και δυσκολία. Οι στροφές είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του μηχανοκίνητου αθλητισμού για διάφορους λόγους. Πρώτον, απαιτούν από τον οδηγό να χρησιμοποιήσει έναν συνδυασμό πέδησης, διεύθυνσης και ελέγχου γκαζιού για να κινηθεί σε αυτές όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και αποτελεσματικά. Αυτό σημαίνει ότι οι στροφές αποτελούν μοναδική πρόκληση για τους οδηγούς, δοκιμάζοντας τις ικανότητες και την εμπειρία τους πίσω από το τιμόνι.

Επιπλέον, οι στροφές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον συνολικό χρόνο γύρου ενός οδηγού. Μια καλά εκτελεσμένη στροφή μπορεί να επιτρέψει σε έναν οδηγό να μεταφέρει περισσότερη ταχύτητα στην επόμενη ευθεία, κερδίζοντας πολύτιμο χρόνο και ενδεχομένως προσπερνώντας ανταγωνιστές.

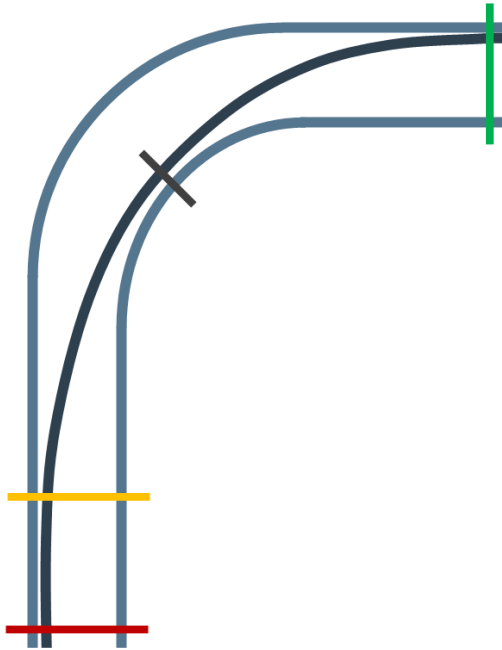
Οι στροφές είναι επίσης σημαντικές για τον καθορισμό των συνολικών χαρακτηριστικών χειρισμού ενός οχήματος. Ο τρόπος με τον οποίο ένα όχημα ανταποκρίνεται σε διαφορετικούς τύπους στροφών μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την ισορροπία, τη σταθερότητα και την πρόσφυσή του. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνουν προσαρμογές στη ρύθμιση του οχήματος, βελτιώνοντας την απόδοσή του στην πίστα.

Γενικά, οι στροφές είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του μηχανοκίνητου αθλητισμού, παρέχοντας μια μοναδική πρόκληση για τους οδηγούς και παίζοντας βασικό ρόλο στον καθορισμό της έκβασης ενός αγώνα. Απαιτούν επιδεξιότητα, ακρίβεια και έλεγχο και η κατάκτησή τους είναι απαραίτητη για την επιτυχία.



Εικόνα 4. Formula 1 Grand Prix du Canada 2008, γύρος 1, στροφή 2. Μία σπάνια για το Καναδικό GP καθαρή εκκίνηση. [4]

5.3.1. Ανατομία μιας στροφής



Εικόνα 5. Ανατομία μιας στροφής. Κόκκινο: Σημείο φρεναρίσματος. Κίτρινο: Είσοδος στροφής. Γκρι: Κορυφή στροφής. Πράσινο: Έξοδος στροφής.

5.3.1.1. Το σημείο φρεναρίσματος

Το σημείο φρεναρίσματος είναι το σημείο στο οποίο ξεκινάει το φρενάρισμα πριν από μια στροφή. Το να αντιληφθεί κάποιος τι σημαίνει ο συγκεκριμένος όρος είναι κάτι εύκολο σε αντίθεση με την επιλογή του βέλτιστου σημείου φρεναρίσματος, το οποίο πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην είσοδο της στροφής. Το μεγαλύτερο μέρος του φρεναρίσματος πρέπει να γίνεται όσο το αυτοκίνητο κινείται σε ευθεία τροχιά.

5.3.1.2. Η είσοδος της στροφής

Πρόκειται για το επόμενο σημείο και ίσως το πρώτο πραγματικό μέρος της στροφής. Η είσοδος της στροφής είναι το σημείο στο οποίο το όχημα ξεκινάει να στρίβει μέσα στην στροφή. Είναι σημαντικό ο οδηγός να μην χάσει αυτό το σημείο. Αν στρίψει αργά θα θυσιάσει την ταχύτητα εξόδου ενώ αν στρίψει πολύ αργά θα αναγκαστεί να μειώσει πολύ την ταχύτητα του οχήματος όσο κινείται μέσα στη στροφή.

5.3.1.3. Η κορυφή της στροφής

Η κορυφή της στροφής είναι το σημείο που ο οδηγός αρχίζει να πατάει ξανά το πόδι του στο γκάζι. Η κορυφή είναι μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της αγωνιστικής γραμμής. Είναι το εσώτατο σημείο της στροφής, το σημείο στο οποίο ένα όχημα βρίσκεται πιο κοντά στο εσωτερικό της στροφής. Η σωστή αναγνώριση της κορυφής

επιτρέπει στον οδηγό να βγει από τη στροφή με τη σωστή τροχιά και παρέχει την καλύτερη γωνία για να επιταχύνει στην αγωνιστική γραμμή. Η κορυφή θεωρείται από τους οδηγούς ως το σημείο όπου ολοκληρώνεται η στροφή και μετατοπίζετε η εστίασή τους στην επιτάχυνση και στην επόμενη περιοχή της πίστας.

Οι περισσότερες πίστες έχουν κερμπ στην κορυφή της στροφής. Συνήθως και αρκετά πριν και αρκετά μετά. Το κερμπ βοηθάει τους οδηγούς να παραμείνουν εντός των ορίων της πίστας αλλά και να δουν πιο ξεκάθαρα την κορυφή, όσο στρίβουν προς αυτήν.

Ο χρόνος εφαρμογής της πλήρους ισχύος είναι κρίσιμος. Ένας εμπειρικός κανόνας λέει πώς ο οδηγός πρέπει να πατήσει το γκάζι την στιγμή που πιστεύει ότι δεν θα χρειαστεί να σηκώσει το πόδι του από αυτό μέχρι το επόμενο σημείο φρεναρίσματος. Στην πραγματικότητα όμως το ιδανικό σημείο επιτάχυνσης, κάθε φορά, βρίσκεται στην κορυφή. Σε κάθε στροφή, σε κάθε πίστα, ο στόχος ενός οδηγού είναι η μέγιστη επιτάχυνση όσο το δυνατόν γρηγορότερα στην κορυφή. Αυτός είναι και ένας εμπειρικός τρόπος για να βρει ένας οδηγός την κορυφή. Εάν η μέγιστη επιτάχυνση από την κορυφή προς τα έξω δεν του επιτρέπει να παραμείνει εντός των ορίων της πίστας στην έξοδο της στροφής, σημαίνει απλώς ότι έκανε λάθος και πρέπει να προσαρμόσει την κορυφή μέχρι να βρει ένα σημείο που να του επιτρέπει να το κάνει αυτό.

5.3.1.4. Η έξοδος της στροφής

Η έξοδος της στροφής είναι το σημείο στο οποίο το όχημα ακουμπάει ξανά την εξωτερική πλευρά της πίστας. Από την στιγμή που έχουμε περάσει την κορυφή της στροφής, η επιτάχυνση αυξάνεται.



Εικόνα 6. Μονοθέσιο της Formula (Austria 2022, Lewis Hamilton N. 44), που έχει χάσει το σημείο φρεναρίσματος, αναγκάζεται να φρενάρει πιο έντονα ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να στρίψει προς την κορυφή της στροφής. Το αποτέλεσμα θα είναι μια αργή έξοδος από την στροφή αλλά και πολύς χαμένος χρόνος εντός αυτής.

5.3.2. Κατηγοριοποίηση στροφών

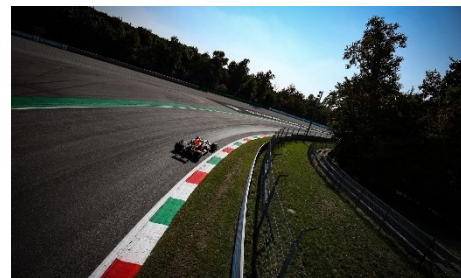
Στους κλειστούς δρόμους διεξαγωγής αγώνων ταχύτητας, οι στροφές κατηγοριοποιούνται βάση της καμπυλότητας, της επιτρεπόμενης ταχύτητας και της πολυπλοκότητας τους. Εκτός από αυτά τα βασικά στοιχεία, οι στροφές της πίστας δρόμου μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν αλλαγές κλίσης και υψομέτρου.

Η καμπυλότητα αναφέρεται στη γωνία της στροφής, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα και την πρόσφυση του αυτοκινήτου. Η κλίση αναφέρεται στην κλίση της πίστας, η οποία μπορεί επίσης να επηρεάσει την πρόσφυση και τη σταθερότητα του αυτοκινήτου. Οι υψομετρικές μεταβολές μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ταχύτητα και το χειρισμό του αυτοκινήτου, καθώς το βάρος του αυτοκινήτου μετατοπίζεται κατά τη διάρκεια της στροφής.

Το σύστημα ταξινόμησης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την πίστα και τις προτιμήσεις των διοργανωτών, αλλά ποτέ δεν θα διαφέρει πολύ από αυτό που παρουσιάζεται ακολούθως.

Στροφή σταθερής ακτίνας

Η στροφή σταθερής ακτίνας χαρακτηρίζεται από τη διατήρηση μιας σταθερής γωνιακής ακτίνας καθ' όλο το μήκος της. Αυτό το χαρακτηριστικό την καθιστά έναν από τους πλέον προβλέψιμους τύπους στροφών σε αγωνιστικές διαδρομές, καθώς η ομοιομορφία του τόξου εξαλείφει την ανάγκη συνεχούς προσαρμογής της αγωνιστικής γραμμής. Οι οδηγοί μπορούν να διατηρούν σταθερή γωνία τιμονιού, ελαχιστοποιώντας τις απαιτήσεις για αιφνίδιες διορθώσεις στην πορεία τους.



Εικόνα 7. Στροφή σταθερής ακτίνας
Parabolica, Monza

Στροφή αυξανόμενης ακτίνας

Η στροφή αυξανόμενης ακτίνας ξεκινάει με μικρότερο τόξο και με την πάροδο του χρόνου η ακτίνα της αυξάνεται. Αυτό επιτρέπει στους οδηγούς να επιταχύνουν καθώς η στροφή γίνεται πιο ευθεία προς την έξοδο. Αν και προσφέρει τη δυνατότητα για επιτάχυνση πιο νωρίς, αποτελεί πρόκληση λόγω του περιορισμένου αριθμού σημείων αναφοράς, καθιστώντας δύσκολη την εύρεση της ιδανικής αγωνιστικής γραμμής.



Εικόνα 8. Στροφή αυξανόμενης ακτίνας
La Caixa Corner, Circuit de Catalunya

Στροφή μειούμενης ακτίνας

Οι στροφές μειούμενης ακτίνας συγκαταλέγονται στις πιο απαιτητικές από τεχνική άποψη. Η ακτίνα της στροφής ελαττώνεται σταδιακά όσο πλησιάζει η έξοδος, αναγκάζοντας τον οδηγό να επιβραδύνει σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι σε άλλες στροφές. Η διαδικασία αυτή συνήθως απαιτεί την επιδέξια διαχείριση της πέδησης και της κατεύθυνσης του οχήματος, καθιστώντας απαραίτητη τη συνδυασμένη λειτουργία των συστημάτων πέδησης και ελέγχου κατεύθυνσης κατά την προσέγγιση και διέλευση από την κορυφή της στροφής.



Εικόνα 9. Στροφή μειούμενης ακτίνας Turn 1 & 2, Shanghai International Circuit

Υψηλής ταχύτητας “S” (εξ)

Οι στροφές τύπου “S” υψηλής ταχύτητας αποτελούν συνδυασμό διαδοχικών στροφών, οι οποίες εκτελούνται σε υψηλές ταχύτητες, συνήθως άνω των 150 km/h. Η επιτυχής διέλευση αυτών των στροφών απαιτεί άριστη διαχείριση της αεροδυναμικής του οχήματος, καθώς ακόμη και μικρές αποκλίσεις από την ιδανική αγωνιστική γραμμή μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την είσοδο στην επόμενη στροφή, εντείνοντας τον κίνδυνο απώλειας ελέγχου ή χρόνου. Η αεροδυναμική αντίσταση και η σταθερότητα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της βέλτιστης ταχύτητας κατά τη διέλευση.



Εικόνα 10. Υψηλής ταχύτητας “S” (εξ) Pflanzgarten II, Nürburgring Nordschleife

Μέσης ταχύτητας “S” (εξ)

Οι στροφές “S” μέσης ταχύτητας παρουσιάζουν παρόμοια διάταξη με τις στροφές υψηλής ταχύτητας, αλλά εκτελούνται σε χαμηλότερες ταχύτητες, συνήθως μεταξύ 100-150 km/h. Σε αυτή την κατηγορία στροφών, η αεροδυναμική παίζει μικρότερο ρόλο, ενώ η απόδοση των αναρτήσεων αποκτά μεγαλύτερη σημασία. Οι οδηγοί συχνά χρησιμοποιούν τα κερμπ για να μειώσουν τη γωνία της στροφής, επιτρέποντας πιο ομαλές και ταχύτερες διόδους.



Εικόνα 11. Μέσης ταχύτητας “S” (εξ) S do Sena, Sao Paulo Brazil

Σικέιν

Τα σικέιν αποτελούν συνδυασμό διαδοχικών στροφών που προκύπτουν συχνά μετά από μεγάλες ευθείες, με σκοπό να μειώσουν την ταχύτητα των οχημάτων και να δημιουργήσουν ευκαιρίες για προσπεράσματα. Συνήθως πρόκειται για στροφές που οδηγούνται σε χαμηλές ταχύτητες, κάτω από 100 km/h, και απαιτούν ακριβή έλεγχο του οχήματος για να διατηρηθεί η βέλτιστη αγωνιστική γραμμή.



Εικόνα 12. Σικέιν
Nouvelle Chicane, Monaco

Φουρκέτα

Η φουρκέτα είναι ένας τύπος στροφής 180 μοιρών, όπου η απότομη αλλαγή κατεύθυνσης απαιτεί από τον οδηγό να επιβραδύνει σημαντικά για να μπορέσει να την εκτελέσει με ακρίβεια. Αυτό το είδος στροφής απαντάται συχνά τόσο σε κλειστές πίστες όσο και σε αγώνες δρόμου, και οδηγείται με ταχύτητες μεταξύ 60-100 km/h. Η δυσκολία των φουρκετών έγκειται στην ακριβή χρονική στιγμή που πρέπει να αρχίσει η επιβράδυνση και η είσοδος στη στροφή, ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική φθορά των ελαστικών και η απώλεια πρόσφυσης.



Εικόνα 13. Φουρκέτα
The Fairmont Hairpin, Monaco

5.3.3. Ονοματοδοσία στροφών

Οι στροφές της πίστας συχνά αριθμούνται ή ονομάζονται με βάση τη θέση τους στην πίστα. Για παράδειγμα, η πρώτη στροφή που συναντούν οι οδηγοί μετά την γραμμή εκκίνησης-τερματισμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως «Στροφή 1». Ωστόσο μια στροφή μπορεί να πάρει και το όνομά της από έναν διάσημο οδηγό ή χορηγό.

Οι στροφές της πίστας του δρόμου μπορούν να ονομαστούν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την πίστα και τις προτιμήσεις των διοργανωτών. Μερικοί συνηθισμένοι τρόποι με τους οποίους ονομάζονται οι στροφές περιλαμβάνουν:

- I. Αρίθμηση:** Οι στροφές αριθμούνται διαδοχικά γύρω από την πίστα, με τη στροφή 1 να είναι η πρώτη στροφή που συναντούν οι οδηγοί μετά την γραμμή εκκίνησης-τερματισμού.
- II. Ορόσημα:** Ορισμένες στροφές πήραν το όνομά τους από ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό ή ορόσημο κοντά στη γωνία. Για παράδειγμα, μια στροφή μπορεί να πάρει το όνομά της από μια κοντινή λίμνη, βουνό ή πόλη. Για παράδειγμα, η διάσημη στροφή Eau Rouge στο Spa-Francorchamps στο

Βέλγιο πήρε το όνομά της από ένα τοπικό ρέμα, που τρέχει κάτω από την πίστα σε εκείνο το σημείο. Το ρεύμα είναι γνωστό για το κόκκινο χρώμα του λόγω του οξειδίου του σιδήρου στο έδαφος, το οποίο δίνει στο νερό μια κοκκινωπή απόχρωση.

III. Ονόματα οδηγών: Ορισμένες στροφές πήραν το όνομά τους από διάσημους οδηγούς που είχαν επιτυχία ή έγραψαν ιστορία για κάποιο λόγο στην συγκεκριμένη πίστα. Ένα παράδειγμα στροφής που πήρε το όνομά του από έναν οδηγό είναι το Senna S στην πίστα της Imola στην Ιταλία. Αυτή η στροφή ονομάστηκε προς τιμήν του Βραζιλιάνου οδηγού Ayrton Senna, ο οποίος βρήκε τραγικό θάνατο σε σύγκρουση στην πίστα κατά τη διάρκεια του Grand Prix του Σαν Μαρίνο το 1994. [5]

IV. Ονόματα χορηγών: Ορισμένες στροφές ονομάζονται από τους χορηγούς ή τους διαφημιζόμενους της πίστας. Για παράδειγμα, το Red Bull Ring στην Αυστρία έχει αρκετές στροφές που πήραν το όνομά τους από την εταιρεία ενεργειακών ποτών. Η πίστα έχει συνολικά 9 στροφές, 3 εκ των οποίων έχουν πάρει το όνομα τους από την Red Bull: Red Bull Mobile («Στροφή 1»), Red Bull Racing («Στροφή 2») και Red Bull Exit («Στροφή 9»)

V. Περιγραφικά ονόματα: Ορισμένες στροφές ονομάζονται με βάση απλώς τα χαρακτηριστικά τους, όπως "φουρκέτα" ή "αριστερή στροφή 90°". Αυτά τα ονόματα περιγράφουν τον τύπο της στροφής και δίνουν στους οδηγούς και κυρίως στους θεατές μια ιδέα για το τι να περιμένουν.

5.3.4. Η διαφορετικότητα των ράλι

Στο πλαίσιο του Παγκόσμιου Πρωταθλήματος Ράλι της FIA (WRC), αλλά και γενικότερα των αγώνων εκτός πίστας, υπάρχουν ελαφρώς διαφορετικοί χαρακτηρισμοί των στροφών. Αυτό οφείλεται όχι τόσο σε ουσιαστικές διαφορές από την σκοπιά της γεωμετρίας αλλά στις διαφορετικές απαιτήσεις κατά την οδήγηση τους. Ακολουθούν μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους:

I. Στενή στροφή: Παρόμοια με τις φουρκέτες, οι στενές/κλειστές στροφές είναι απότομες στροφές που απαιτούν από το αυτοκίνητο να επιβραδύνει σημαντικά. Ωστόσο, δεν είναι τόσο σφιχτές όσο οι φουρκέτες και ο οδηγός μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα στη στροφή.

II. Μεσαία στροφή: Πρόκειται για στροφές που απαιτούν μέτρια μείωση της ταχύτητας, και σίγουρα όχι όσο οι φουρκέτες ή οι κλειστές στροφές. Ο οδηγός μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα σε μια μεσαία στροφή από μια κλειστή στροφή.

III. Γρήγορη στροφή: Πρόκειται για στροφές που μπορούν να ληφθούν σε υψηλές ταχύτητες, συχνά χωρίς σημαντική μείωση ταχύτητας. Απαιτούν υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων και εμπιστοσύνης από τον οδηγό, καθώς και ένα καλά ρυθμισμένο αυτοκίνητο.

IV. Σικέιν: Μια σειρά από γρήγορες στροφές αριστερά-δεξιά που απαιτούν από τον οδηγό να αλλάξει γρήγορα κατεύθυνση. Τα σικέιν χρησιμοποιούνται συχνά για να επιβραδύνουν τα αυτοκίνητα πριν από ένα πιο τεχνικό τμήμα ή και για να δημιουργήσουν μια πιο ενδιαφέρουσα διάταξη για τους θεατές.

V. Φουρκέτα: Μια πολύ σφικτή στροφή, συνήθως στις 180 μοίρες, όπου το αυτοκίνητο πρέπει να επιβραδύνει σημαντικά για να κινηθεί μέσα στη στροφή. Οι φουρκέτες χρησιμοποιούνται συχνά στο τέλος ενός ευθύγραμμου τμήματος για να επιβραδύνουν τα αυτοκίνητα πριν από ένα πιο τεχνικό τμήμα.

Ωστόσο οι παραπάνω κατηγορίες δεν βοηθούν ιδιαίτερα τον οδηγό στην αναζήτηση της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής κατά την διάρκεια του αγώνα. Ο κάθε οδηγός χρειάζεται σημειώσεις. Υπάρχουν μερικά διαφορετικά συστήματα σημειώσεων που χρησιμοποιούνται μεταξύ των ομάδων για να μπορέσει ο συνοδηγός να καθοδηγήσει αποτελεσματικά τον οδηγό. Σε ορισμένα από αυτά, οι στροφές χωρίζονται σε αριθμούς από το 1 έως το 6, με το 1 να είναι φουρκέτα και το 6 σχεδόν ευθεία.

Κάποιες ομάδες χρησιμοποιούν επίσης έναν τροποποιητή +/- ο οποίος είναι παρόμοιος σε λογική με την δίεση και την ύφεση στη μουσική. Μία στροφή 4+ είναι ελαφρώς ταχύτερη από μία 4 αλλά όχι τόσο γρήγορη όσο μία 5-. Άλλες ομάδες ωστόσο τους θεωρούν περιττούς, καθώς είναι υπερβολικά αναλυτική πληροφορία για τον οδηγό αλλά και απαιτεί επιπλέον χρόνο για ανάγνωση, ειδικά σε σφικτά, γρήγορα στάδια που έχουν πολλές σημειώσεις για ανάγνωση.

5.3.4.1. Συστήματα σημειώσεων ράλι

Στους αγώνες ράλι, δύο τύποι σημειώσεων χρησιμοποιούνται από τους συνοδηγούς για να καθοδηγήσουν τους οδηγούς σε κάθε στάδιο: σημειώσεις ρυθμού και σημειώσεις ειδικής. Ενώ οι δύο τύποι σημειώσεων εξυπηρετούν παρόμοιο σκοπό, υπάρχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Οι σημειώσεις ρυθμού είναι η παραδοσιακή μέθοδος παροχής καθοδήγησης στους οδηγούς σε αγώνες ράλι. Σε αυτό το σύστημα, οι συνοδηγοί χρησιμοποιούν μια σειρά στενογραφημένων σημειώσεων για να περιγράψουν τις επερχόμενες οδικές συνθήκες και κινδύνους. Αυτές οι σημειώσεις βασίζονται στην εμπειρία του ίδιου του οδηγού στην πίστα και πιθανώς δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας αναγνωριστικής διαδρομής πριν από τον αγώνα. Οι σημειώσεις ρυθμού έχουν σχεδιαστεί για να προσαρμόζονται στις προτιμήσεις και το στυλ οδήγησης κάθε οδηγού και μπορούν να μεταβάλλονται καθώς αλλάζουν οι συνθήκες κατά τη διάρκεια του αγώνα.

Οι σημειώσεις ειδικής, από την άλλη πλευρά, είναι μια πιο πρόσφατη εξέλιξη στους αγώνες ράλι. Οι σημειώσεις αυτές προετοιμάζονται από τους διοργανωτές του αγώνα και βασίζονται συνήθως σε λεπτομερείς χάρτες και βίντεο. Παρέχουν ένα πιο τυποποιημένο και συνεπές σύνολο οδηγιών για τους οδηγούς, με ακριβέστερες περιγραφές των οδικών συνθηκών και των κινδύνων. Οι σημειώσεις σταδίου

παρέχονται συνήθως σε όλους τους οδηγούς του αγώνα και δεν μπορούν να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια του αγώνα. [6]

Ενώ τόσο οι σημειώσεις ρυθμού όσο και οι σημειώσεις ειδικής εξυπηρετούν την ίδια βασική λειτουργία της καθοδήγησης των οδηγών σε κάθε ειδική του ράλι, υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε σύστημα. Οι σημειώσεις ρυθμού προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή, αλλά μπορεί να είναι λιγότερο ακριβείς και συνεπείς από τις σημειώσεις ειδικής. Οι σημειώσεις ειδικής παρέχουν ένα πιο τυποποιημένο και ακριβές σύνολο οδηγιών, αλλά μπορεί να μην είναι τόσο κατάλληλο για τις προτιμήσεις και τα στυλ του κάθε οδηγού. Τελικά, η επιλογή εξαρτάται από την προσωπική προτίμηση και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε αγώνα. Η λεπτή διαφορά μεταξύ του τρόπου με τον οποίο περιγράφεται ο δρόμος και του τρόπου με τον οποίο οδηγείται, διαχωρίζει τους δύο τύπους σημειώσεων. [7]

Παράδειγμα:

R5/CR L3 n.c. 100 R1 tidy into L2 300 !! Jump L2/ kick into R3>

Δεξιά στροφή δυσκολίας 5 ακολουθούμενη άμεσα από «σαμαράκι». Αριστερή στροφή δυσκολίας 3 στην οποία δεν πρέπει ο οδηγός να περάσει πάνω από την κορυφή της στροφής. Ευθεία 100 μέτρων. Δεξιά στροφή δυσκολίας 1. Οδήγηση στο μέσον του δρόμου προς αριστερή στροφή δυσκολίας 2. Ευθεία 300 μέτρων. Διπλή προσοχή προς άλμα. Αριστερή στροφή δυσκολίας 2 προς είσοδο δεξιάς στροφής δυσκολίας 3 και μειούμενης ακτίνας.

5.4. Αγωνιστική γραμμή

5.4.1. Η θεωρία πίσω από την αγωνιστική γραμμή

Στον μηχανοκίνητο αθλητισμό, η αγωνιστική γραμμή είναι η διαδρομή που ακολουθεί το όχημα και αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο της συνολικής αγωνιστικής στρατηγικής. Για μια δεδομένη διαδρομή, υπάρχει ένας άπειρος αριθμός αγωνιστικών γραμμών. Μια βέλτιστη αγωνιστική γραμμή ελαχιστοποιεί το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδρομής.

Οι οδηγοί αγώνων εξασκούνται για να εκτελέσουν την ίδια στρατηγική και να παράγουν τους καλύτερους χρόνους με συνέπεια, τελειοποιώντας έτσι την ικανότητα να επιλέγουν πόσο γρήγορα να οδηγούν σε διαφορετικά μέρη της πίστας, τότε να αλλάζουν σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο ταχυτήτων, τότε να ξεκινούν το φρενάρισμα καθώς πλησιάζουν σε μια στροφή, τότε να στρίψουν για να πετύχουν την κορυφή μιας στροφής, τότε να αρχίσουν να επιταχύνουν καθώς εξέρχονται από μια στροφή.

Η γραμμή αγώνων μπορεί να βασίζεται είτε σε μια διαδρομή ελάχιστης καμπυλότητας είτε σε μια διαδρομή ελάχιστου χρόνου. Η πρώτη είναι εύλογα κοντά στην τελευταία, επειδή επιτρέπει τις υψηλότερες ταχύτητες στροφής σε δεδομένη μέγιστη πλευρική επιτάχυνση. [8]

Σε ευθεία τμήματα της πίστας, θεωρητικά όλοι οι οδηγοί μπορούν να φτάσουν τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα και απλά να οδηγήσουν σε ευθεία γραμμή. Έτσι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά για τις διαφορετικές δεξιότητες των οδηγών. Αλλά όταν υπάρχει μια στροφή, η ταχύτητα δεν μπορεί να πάει πάνω από το επιτρεπόμενο επίπεδο, και υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ της ταχύτητας και του μήκους της αγωνιστικής γραμμής που λαμβάνεται. Μια ομαλότερη γραμμή αγώνων με μικρότερη καμπυλότητα είναι μεγαλύτερη και μια πιο καμπυλωτή γραμμή αγώνων μπορεί να είναι μικρότερη. Το πιο αργό μέρος της πίστας αγώνων διαφοροποιεί τις καλές και κακές στρατηγικές.

Ας υποθέσουμε ότι:

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

a_n : η κεντρομόλος επιτάχυνση

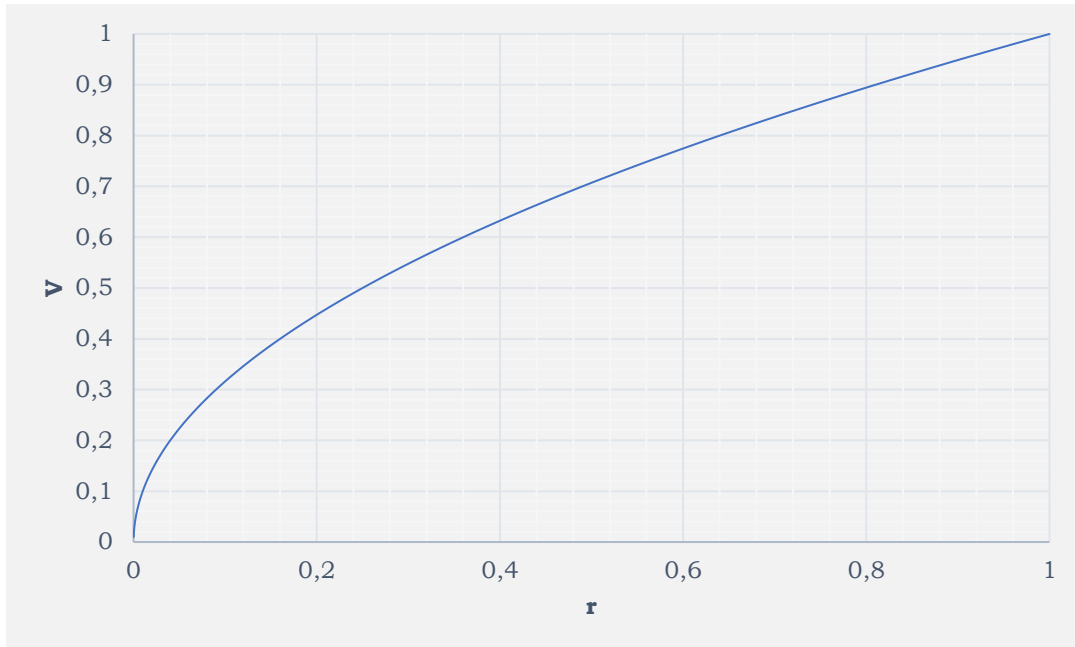
v : η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα

r : η γωνία στροφής

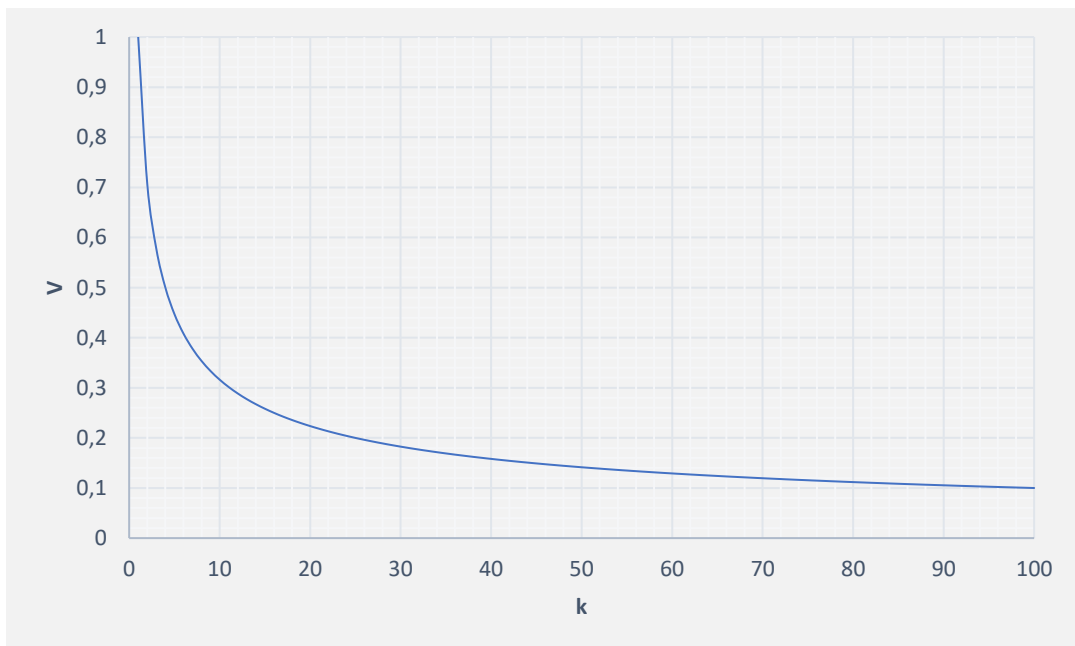
Όταν η κεντρομόλος επιτάχυνση είναι ένας σταθερός αριθμός, έχουμε ότι το τετράγωνο της ταχύτητας είναι ανάλογο της γωνίας στροφής, δηλαδή:

$$v^2 \propto \frac{1}{k}$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία στροφής, τόσο λιγότερο έλεγχο έχει πάνω στην ταχύτητα. Στην πραγματικότητα, όταν είναι απείρως μεγάλη, η γωνία γίνεται ευθεία γραμμή και η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα θα είναι μόνο το φυσικό όριο του αυτοκινήτου v_{max} . Ομοίως, όταν αυξάνεται η γωνία στροφής, μειώνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα. [9]



Διάγραμμα 2. Σχέση μεταξύ της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας V και της ακτίνας της στροφής r . Η μέγιστη ταχύτητα αυξάνεται όταν η ακτίνα μεγαλώνει.



Διάγραμμα 3. Σχέση μεταξύ της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας V και της καμπυλότητας της γραμμής k . Η μέγιστη ταχύτητα μειώνεται όταν η καμπυλότητα μεγαλώνει.

Η αγωνιστική γραμμή είναι το πιο κρίσιμο στοιχείο της συνολικής αγωνιστικής στρατηγικής στους αγώνες αυτοκινήτων. Οι επαγγελματίες οδηγοί μαθαίνουν από την εμπειρία τους να οδηγούν την αγωνιστική γραμμή. Μπροστά από κάθε αγώνα, οι οδηγοί μαθαίνουν την καλύτερη στρατηγική σε έναν προσομοιωτή για να ελαχιστοποιήσουν το χρόνο γύρου τους. Εξασκούνται στον προσομοιωτή για να εκτελέσουν την ίδια στρατηγική και να παράγουν τους καλύτερους χρόνους γύρου με συνέπεια, κυριαρχώντας έτσι πόσο γρήγορα οδηγείτε σε διαφορετικά μέρη της τροχιάς, πότε να αλλάζετε ταχύτητες, πότε να αρχίσετε να φρενάρετε καθώς πλησιάζουν σε μια γωνία, πότε να γυρίσετε πριν χτυπήσετε ένα Κορυφή, πότε να αρχίσει να επιταχύνει καθώς εξέρχονται από μια γωνία, κ.λπ. Τέλος, βγαίνουν από τον προσομοιωτή και στην πραγματική πίστα για να τελειοποιήσουν την αγωνιστική τους στρατηγική για να αντισταθμίσουν τις διαφορές προσομοιωτή-πραγματικότητας. [10]

Αναλογικά, οι αλγόριθμοι για αυτόνομους αγώνες μπορούν να αξιοποιήσουν τη γνώση μιας προϋπολογισμένης αγωνιστικής γραμμής στην κατασκευή ενός σχεδιαστί κίνησης και ενός ελεγκτή, όπου ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση από την προϋπολογισμένη αγωνιστική γραμμή.

Για παράδειγμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έλεγχο επαναληπτικής μάθησης για την παρακολούθηση της πλευρικής διαδρομής [11] ή μη γραμμικό προγνωστικό έλεγχο για προγραμματισμό και έλεγχο κίνησης [12]. Μια άλλη προσέγγιση περιλαμβάνει τη χρήση τριών διαφορετικών ελεγκτών, ενός που βασίζεται στον προγραμματισμό κέρδους για την παρακολούθηση πλευρικής θέσης και δύο αναλογικών ελεγκτών για την παρακολούθηση της καμπυλότητας και της ταχύτητας της διαδρομής [13].

Ας αναλύουμε τον βέλτιστο τρόπο για να οδηγήσουμε σε μια στροφή. "Βέλτιστο" σημαίνει στον ελάχιστο χρόνο, με τη μεγαλύτερη δηλαδή μέση ταχύτητα. Ποιο είναι όμως το σχήμα της αγωνιστικής γραμμής οδήγησης μέσα σε μία στροφή που δίνει τον καλύτερο χρόνο; Και ποια η απόδοση σε σχέση με άλλες γραμμές, ας πούμε αγκαλιάζοντας την εξωτερική ή την εσωτερική πλευρά της γωνία;

Η ανάλυση που παρουσιάζεται παρακάτω είναι η απλούστερη προσέγγιση του προβλήματος. Ουσιαστικά απλώς σκιαγραφείτε η ανάλυση, προσπαθώντας να επικεντρωθούμε στις βασικές αρχές, μέσω πολλών απλουστευτικών υποθέσεων. Καταρχάς, εξετάζουμε τη γωνία μεμονωμένα ως μία αφηρημένη οντότητα. Η πραγματική καλύτερη γραμμή οδήγησης μέσα από μια στροφή εξαρτάται από το τι προηγείται και το τι έπεται. Αν μετά την στροφή ακολουθεί μια ευθεία, ίσως θέλουμε να βελτιώσουμε την ταχύτητα εξόδου από την στροφή. Αν όμως ακολουθεί μια άλλη στροφή, ίσως να μην στρίψουμε περνώντας από την κορυφή της στροφής.

Μία άλλη παραδοχή που κάνουμε είναι ότι το όχημα μπορεί είτε να επιταχύνει, είτε να φρενάρει, είτε να στρίψει με σταθερή ταχύτητα, σε φάσεις απολύτως διακριτές μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα, ένα αγωνιστικό (και όχι μόνο) όχημα μπορεί να συνδυάζει τα παραπάνω.

Γιατί χρειαζόμαστε όμως την αγωνιστική γραμμή;

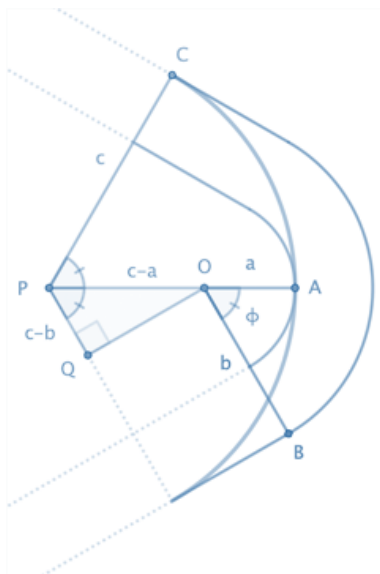
Ας ορίσουμε τρεις διαδρομές για μια στροφή:

- I. Την «Γραμμή i »: που κινείται στα εσωτερικά όρια της πίστας
- II. Την «Γραμμή o »: που κινείται στα εξωτερικά όρια της πίστας
- III. Την «Γραμμή m »: που ξεκινάει από τα εξωτερικά όρια της πίστας, εφάπτεται στο εσωτερικό γεωμετρικό κέντρο της στροφής και καταλήγει πάλι στα εξωτερικά όρια, βρισκόμενη πάνω στο τόξο με την μέγιστη δυνατή ακτίνα.

Κάποιος θα μπορούσε να υποστηρίξει ότι υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα της γραμμής i έναντι της γραμμής m . Η γραμμή i είναι σημαντικά μικρότερη από τη γραμμή m , και παρόλο που πρέπει να πάμε πιο αργά μέσα από το γωνιακό τμήμα, έχουμε λιγότερη συνολική απόσταση να καλύψουμε. [14]

Εάν κάποιος χρησιμοποιήσει τη διαδρομή με τη μικρότερη ακτίνα r_i η απόσταση που διανύει γύρω από την γωνία ελαχιστοποιείται ωστόσο ακολουθώντας μια καμπύλη με μεγαλύτερη ακτίνα r_i μπορούν να διατηρηθούν μεγαλύτερες ταχύτητες και αντισταθμίζεται η επιπλέον διανυθείσα απόσταση. Οι εσωτερικές γραμμές ποτέ δεν είναι καλύτερες από την αγωνιστική γραμμή, παρόλο που όσο η ακτίνα αυξάνει, το περιθώριο των απωλειών μειώνεται. Η εξωτερική διαδρομή r_o είναι και πιο αργή και μακρύτερη από τις άλλες γραμμές.

Όταν αναλύουμε ολόκληρη την πίστα, η βέλτιστη αγωνιστική γραμμή μειώνει το συνολικό χρόνο και μεγιστοποιεί την ταχύτητα γύρω από την πίστα.



Εικόνα 14. Γεωμετρική ανάλυση στροφής.

Η ακτίνα της αγωνιστικής γραμμής μπορούμε απλουστευτικά να θεωρήσουμε ότι εξαρτάται από 3 παράγοντες:

- I. Την εξωτερική ακτίνα.
- II. Την εσωτερική ακτίνα.

III. Το μήκος της στροφής.

Ας θεωρήσουμε το a και το b τις εσωτερικές και εξωτερικές ακτίνες της τροχιάς, με τα κέντρα των τόξων το O . Ας θεωρήσουμε το c την ακτίνα της αγωνιστικής γραμμής στην στροφή, με κέντρο του τόξου το P . Ορίζουμε το $\varphi = \theta/2$, ως τη μισή γωνία της στροφής (δηλαδή το μισό μέτρο οποιουδήποτε από τα εμπλεκόμενα τόξα).

Από το ορθογώνιο τρίγωνο ΔOPQ , έχουμε την σχέση:

$$\cos\varphi = \frac{c - b}{c - a}$$

$$(c - a)\cos\varphi = c - b$$

$$b - a\cos\varphi = c(1 - \cos\varphi)$$

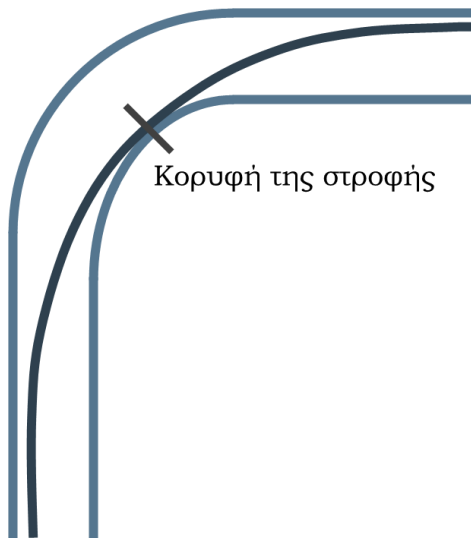
$$c = \frac{b - a\cos\varphi}{1 - \cos\varphi}$$

$$c = \frac{b - a + a - a\cos\varphi}{1 - \cos\varphi} = \frac{b - a}{1 - \cos\varphi} + \frac{a(1 - \cos\varphi)}{1 - \cos\varphi}$$

$$c = a + \frac{b - a}{1 - \cos\varphi}$$

5.4.2. Η γεωμετρική αγωνιστική γραμμή

Η γεωμετρική αγωνιστική γραμμή είναι το πιο ανοικτό τόξο που μπορεί να σχεδιαστεί μέσα σε μια στροφή. Χρησιμοποιεί κάθε εκατοστό της πίστας, θεωρεί ως κορυφή της στροφής το εσωτερικό σημείο της και αν την οδηγούσατε, θα μπορούσατε να διατηρήσετε μια σταθερή ταχύτητα από την είσοδο της στροφής μέχρι το σημείο εξόδου.



Εικόνα 15. Η σκούρα γραμμή είναι η γεωμετρικά βέλτιστη αγωνιστική γραμμή.

Αν και γεωμετρική αγωνιστική γραμμή δεν είναι η γρηγορότερη βοηθάει στο να κατανοήσουμε το εξής: όσο πιο απότομη μια στροφή τόσο πιο μεγάλη πρέπει να είναι η αλλαγή διεύθυνσης και τόσο μικρότερη η ταχύτητα την οποία μπορούμε να κρατήσουμε εντός της. Η γεωμετρική αγωνιστική γραμμή είναι η γρηγορότερη αγωνιστική γραμμή κατά μήκος μιας στροφής όταν αυτή είναι πλήρως αποκομμένη από την υπόλοιπη πίστα.

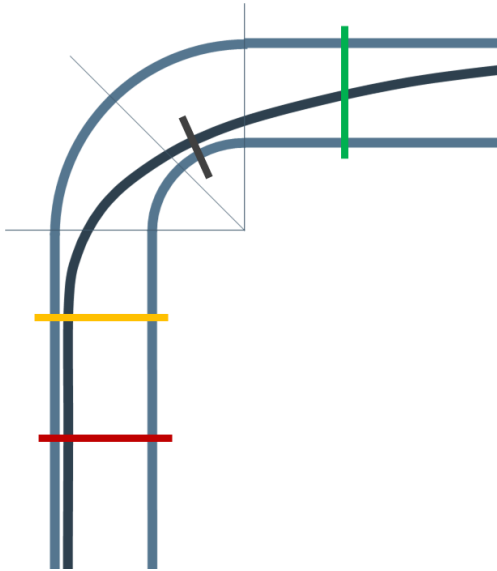
Πλεονεκτήματα της γεωμετρικής αγωνιστικής γραμμής:

- I. Εξομαλύνει τις στροφές με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο.
- II. Διατηρεί την ορμή (μπορεί να είναι χρήσιμη για αυτοκίνητα χαμηλής ισχύος).
- III. Μειώνει τις πιθανότητες υποστροφής ή υπερστροφής.
- IV. Διατηρεί τη διάρκεια ζωής των ελαστικών.

Μειονεκτήματα:

- I. Δεν πρόκειται απαραίτητα να αποδώσει τους ταχύτερους δυνατούς χρόνους γύρου.

5.4.3. Η αγωνιστική γραμμή ελάχιστου χρόνου



Εικόνα 16. Ανατομία μιας στροφής με αγωνιστική γραμμή ελάχιστου χρόνου. Κόκκινο: Σημείο φρεναρίσματος. Κίτρινο: Είσοδος στροφής. Γκρι: Καθυστερημένη κορυφή στροφής. Πράσινο: Έξοδος στροφής.

Παραδόξως, η μεταφορά της υψηλότερης μέσης ταχύτητας στις στροφές μπορεί να μην είναι στην πραγματικότητα ο πιο γρήγορος τρόπος γύρω από μια πίστα. Εάν η στροφή οδηγεί σε ευθεία, μπορεί να είναι καλύτερο ο οδηγός να καθυστερήσει να στρίψει, να ευθυγραμμίσει την τροχιά του αυτοκίνητου και να επιταχύνει νωρίτερα ώστε να έχει μια έξοδο υψηλής ταχύτητας. Αυτό θεωρείται γενικά ως η καλύτερη στρατηγική για αγώνες, με ελαφρώς χαμηλότερη ταχύτητα εισόδου αλλά μεγαλύτερη ταχύτητα εξόδου. Η διαθέσιμη ποσότητα πρόσφυσης είναι ο παράγοντας που καθορίζει πόσο καθυστερημένο μπορεί να είναι το φρενάρισμα.

Πλεονεκτήματα της αγωνιστικής γραμμής ελάχιστου χρόνου:

- I. Αυξάνει τις πιθανότητες ενός γρήγορου γύρου σε ένα ισχυρό αυτοκίνητο
- II. Επιτρέπει την εφαρμογή της ισχύος νωρίτερα
- III. Μεγιστοποιεί τη χρήση τυχόν ευθειών που ακολουθούν τη γωνία
- IV. Επιτρέπει το καθυστερημένο φρενάρισμα

Μειονεκτήματα:

- I. Μπορεί να μην είναι η ταχύτερη διαδρομή σε ένα αυτοκίνητο χαμηλής ισχύος
- II. Αυξάνει τη ζήτηση στα ελαστικά.

5.4.4. Η αγωνιστική γραμμή σε βρεγμένη πίστα

Μία από τις μεγαλύτερες διαφορές κατά την οδήγηση σε βρεγμένη πίστα είναι η βέλτιστη αγωνιστική γραμμή, η οποία πιθανότατα θα διαφέρει σημαντικά από την αγωνιστική γραμμή σε στεγνή πίστα.

Μια πίστα αγώνων, όταν οδηγείται σε ξηρές συνθήκες, θα δημιουργήσει ένα στρώμα γόμας στην ιδανική στεγνή γραμμή. Αυτό το στρώμα δημιουργείται μετά από πολλές δοκιμές, ή και πολλές ημέρες αγώνων, όπου οι οδηγοί οδηγούν συνεχώς στο ίδιο τμήμα της πίστας. Κατά τη διάρκεια βροχής, αλλά και μετά, αυτή η βέλτιστη αγωνιστική γραμμή γίνεται πολύ ολισθηρή και η δυσκολότερη γραμμή της πίστας για οδήγηση. Στην πραγματικότητα, η ιδανική πλέον γραμμή συνήθως είναι στο εξωτερικό της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής.

Η κόκκινη γραμμή καλύπτεται από γόμα, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικό στο στεγνό - αλλά όχι τόσο καλό στο υγρό. Έτσι, παρόλο που η μπλε γραμμή έχει μεγαλύτερη απόσταση γύρω από το εξωτερικό, η μεγάλη διαφορά στα επίπεδα πρόσφυσης υπερκαλύπτει.

5.4.5. Ταχύτητα ή Πρόσφυση;

Για κάθε δεδομένη ακτίνα τροχιάς, ένα αυτοκίνητο μπορεί να αναπτύξει μια δεδομένη μέγιστη ταχύτητα. Όσο μεγαλύτερη η ακτίνα, τόσο γρηγορότερα μπορεί να κινείται ένα αυτοκίνητο μέχρι να μην μπορεί πλέον να διατηρήσει την πορεία του λόγω υποστροφής ή υπερστροφής.

Αρκετά διαισθητικό, αλλά ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι εάν ένα δεδομένο αυτοκίνητο μπορεί να οδηγήσει στο όριο γύρω από έναν κύκλο ακτίνας 100 m στα 160 km/h, σε έναν κύκλο ακτίνας 25 m θα ήταν σε θέση να οδηγήσει μόνο 80 km/h πριν ολισθήσει.

Αυτό είναι εύκολο να το αντιληφθεί κάποιος, όταν έχουμε μεγάλες μεταβολές στην ακτίνα ή στην ταχύτητα. Στην πραγματικότητα όμως ακόμη και πολύ μικρές αλλαγές στην τροχιά επιφέρουν μεγάλη αλλαγή στην μέγιστη δυνατή ταχύτητα, αλλά και αντιστρόφως.

Σε έναν αγώνα ταχύτητας, σπάνια θα υπάρξει αυτοκίνητο που να κινείται σε μία στροφή με σταθερή ακτίνα τροχιάς. Η ακτίνα θα μεγαλώνει ή θα μικραίνει και αυτό αλλάζει την μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Δεν υπάρχει αύξηση ταχύτητας χωρίς απώλειες στην πρόσφυση.

5.4.6. Περιορισμένη ισχύς ή σπινάρωμα;

Στην κορυφή της στροφής θέλουμε την μέγιστη δυνατή δύναμη, αλλά τεχνικά αυτό που επιτυγχάνεται είναι η μέγιστη δύναμη που μπορούν να μεταφέρουν τα ελαστικά για να επιταχύνουν το όχημα προς την ιδανική κατεύθυνση.

Σε πολλά αυτοκίνητα χαμηλότερης ισχύος, αυτό ουσιαστικά σημαίνει πλήρης ισχύς του κινητήρα σε όλες εκτός από τις πολύ αργές στροφές. Σε αυτοκίνητα υψηλής ισχύος ή σε ολισθηρές συνθήκες, ενδέχεται να απαιτείται μόνο μέρος της ισχύος του σε ολόκληρη την έξοδο. Σε ένα αυτοκίνητο με πολλή κάθετη δύναμη, η ισχύς μπορεί να αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η πρόσφυση.

Ο στόχος όμως είναι πάντα ο ίδιος. Μέγιστη επιτάχυνση, η οποία είναι είτε πλήρης ισχύς εάν το όχημα κινείται στα όρια της υποστροφής είτε η μέγιστη δυνατή πριν το υπερβολικό σπινάρισμα των τροχών. Δεν είναι όμως τεχνικά το σπινάρισμα των τροχών πάντα σημαντικό. Ένα παράδειγμα είναι η οδήγηση εκτός δρόμου, όπου η μέγιστη επιτάχυνση επιτυγχάνεται με σημαντικό σπινάρισμα. Ο στόχος όμως εξακολουθεί να είναι η μέγιστη επιτάχυνση, απλώς επιτυγχάνεται διαφορετικά.

Επίσης, δεν μιλάμε μόνο για επιτάχυνση προς τα εμπρός, είναι συνδυασμένη διανυσματική επιτάχυνση. Ο συνολικός συνδυασμός πλευρικής και διαμήκου δύναμης σε όλη τη γωνιακή έξοδο.

Καθώς ένα όχημα περνάει από την κορυφή, ο μόνος λόγος που δεν πρέπει να έχει πλήρη ισχύ στον κινητήρα είναι για να αποφευχθεί η υπερβολική περιστροφή των τροχών, επειδή αυτό μειώνει τις δυνάμεις που μπορούν να μεταφέρουν τα ελαστικά. Συνήθως το υπερβολικό σπινάρισμα των τροχών γίνεται αντιληπτό επειδή θα προκαλέσει υπερστροφή. Η υπερβολική περιστροφή των τροχών δεν προκαλεί πάντα υπερστροφή σε κάθε αυτοκίνητο, αλλά όταν το κάνει, η χρήση της πλήρης ισχύος του κινητήρα δεν πρέπει να περιορίζεται μέχρι το όχημα να φτάσει σε πραγματική ολίσθηση λόγω υπερστροφής, όπου μια διόρθωση του τιμονιού δεν μπορεί να την αντισταθμίσει, και μόνο η μείωση του γκαζιού διατηρεί το πίσω μέρος υπό έλεγχο.
[15]

5.4.7. Στροφή & Χειρόφρενο

Τα τελευταία χρόνια η σημασία της διερεύνησης της μη γραμμικής περιοχής λειτουργίας των ελαστικών έχει αυξηθεί με την ιδέα ότι οι λεγόμενες τεχνικές επιθετικής οδήγησης θα μπορούσαν να είναι πιο αποτελεσματικές από τους ελιγμούς σε χαμηλή γωνία ολίσθησης του οχήματος υπό ορισμένες ιδιαίτερες συνθήκες γεωμετρίας του δρόμου και πρόσφυσης του εδάφους των ελαστικών. Επιπλέον, η αύξηση των γνώσεων σχετικά με αυτές τις τεχνικές μπορεί να οδηγήσει σε αυτόνομα οχήματα ικανά να εκτελούν επιθετικούς ελιγμούς. Η εμπειρία δείχνει ότι οι ελιγμοί πλαγιολίσθησης δεν αποτελούν ιδιαιτερότητα ενός συγκεκριμένου είδους διάταξης οχήματος και κιβωτίου ταχυτήτων, δηλαδή κίνηση στους μπροστινούς τροχούς (FWD Front-WheelDrive), σε όλους τους τροχούς (AWD All-WheelDrive) ή στους πίσω τροχούς (RWD Rear-WheelDrive).

Αυτός ο ελιγμός συνίσταται βασικά στην πέδηση του πίσω άξονα προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της πλευρικής δύναμης, λόγω της συνύπαρξης πλευρικής δύναμης και διαμήκου δύναμης στις αλληλεπιδράσεις ελαστικού-εδάφους, και στην περιστροφή του τιμονιού για να ενεργοποιηθεί η ολίσθηση του πίσω άκρου του οχήματος. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως για την προσέγγιση πολύ στενών

στροφών χαμηλής ταχύτητας, π.χ. στροφές «φουρκέτας» χαμηλής ακτίνας, σε διαφορετικά οδοστρώματα. [16]

Η στροφή με χειρόφρενο μπορεί να χωριστεί στις εξής φάσεις:

- I. Προσέγγιση στροφής.** Η προσέγγιση της στροφής γίνεται με σχετικά χαμηλή ταχύτητα. Στο σημείο φρεναρίσματος ο οδηγός αφήνει απότομα το γκάζι ώστε να δημιουργήσει μια μεταφορά βάρους προς τα εμπρός με αποτέλεσμα τη μέγιστη πρόσφυση στο μπροστινό μέρος. Η οδήγηση ράλι γενικά έχει να κάνει με τη μεταφορά βάρους και την ορμή.
- II. Είσοδος στροφής.** Στο σημείο εισόδου της στροφής, το όχημα στρίβει απότομα με μια κίνηση του οδηγού ο οποίος πλέον στοχεύει την κορυφή στο μέσον της στροφής.
- III. Κορυφή στροφής.** Ταυτόχρονα ο οδηγός πατάει τον συμπλέκτη και τραβάει χειρόφρενο με μία άμεση κίνηση. Αυτό θα κλειδώσει τους πίσω τροχούς, θα προκαλέσει ολίσθηση και θα αρχίσει να μικραίνει την ακτίνα της γωνίας. Εκτός αν το αυτοκίνητο έχει την κίνηση στους μπροστινούς τροχούς ή/και είναι αυτόματο, ο οδηγός πατάει τον συμπλέκτη. Αυτό επιτρέπει στα πίσω ελαστικά να κλειδώνουν χωρίς να σταματούν τον κινητήρα. Στη συνέχεια, ο οδηγός γυρίζει τους τροχούς προς την κατεύθυνση που θέλει να κινηθεί.
- IV. Έξοδος στροφής.** Μετά την περιστροφή, ενώ ο συμπλέκτης είναι ακόμα πατημένος, ο οδηγός επαναφέρει το χειρόφρενο και επιλέγει τη σωστή σχέση μετάδοσης. Τα ελαστικά των πίσω τροχών δεν έχουν πρόσφυση, οπότε η ποσότητα του γκαζιού είναι σχετικά μικρή, έως ότου τα ελαστικά μεταβούν από ολίσθηση σε επιτάχυνση.

5.4.8. Οι αντιθέσεις στην αγωνιστική γραμμή μεταξύ MotoGP και αγώνων τεσσάρων τροχών

Ο κόσμος του μηχανοκίνητου αθλητισμού περιλαμβάνει μια ευρεία γκάμα κλάδων, καθένας με τις μοναδικές προκλήσεις και τα χαρακτηριστικά του. Δύο εξέχουσες κατηγορίες, το MotoGP και οι αγώνες τεσσάρων τροχών με την επιτομή της Formula 1 και άλλων σειρών αγώνων, επιδεικνύουν την κορυφή της ταχύτητας και της ικανότητας. Μια θεμελιώδης πτυχή που τους ξεχωρίζει βρίσκεται στις αγωνιστικές τους γραμμές. Διερευνώντας την αποκλίνουσα φύση των αγωνιστικών γραμμών στο MotoGP και στους αγώνες τεσσάρων τροχών, εμβαθύνει κανείς στην ξεχωριστή δυναμική, τους παράγοντες και τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε κλάδο.

- I. Δυναμική Οχήματος.** Το MotoGP, με τις μοτοσυκλέτες υψηλών επιδόσεων, απαιτεί μια ευέλικτη και ευκίνητη προσέγγιση. Αυτά τα ελαφριά μηχανήματα υπερέχουν στις γρήγορες αλλαγές κατεύθυνσης και στις έντονες στροφές. Η γραμμή αγώνων στο MotoGP δίνει προτεραιότητα στη μεταφορά ταχύτητας στις στροφές μεγιστοποιώντας τις γωνίες κλίσης ενώ διαχειρίζεται προσεκτικά την πρόσφυση. Αντίθετα, οι αγώνες τεσσάρων τροχών, με την επιτομή της Formula 1 και άλλων σειρών αγώνων, περιλαμβάνουν αυτοκίνητα με αεροδυναμική κάθετη δύναμη, φαρδύτερα ελαστικά και αυξημένο βάρος. Οι αγώνες τεσσάρων τροχών δίνουν έμφαση στη μεγιστοποίηση της πρόσφυσης, της σταθερότητας και της απόδοσης πέδησης, με αγωνιστικές γραμμές

οχεδιασμένες να βελτιστοποιούν τις στροφές με υψηλή ταχύτητα και την επιτάχυνση.

II. Στρατηγικές αγώνων: Οι αγώνες MotoGP και τεσσάρων τροχών χρησιμοποιούν ξεχωριστές αγωνιστικές στρατηγικές, οι οποίες επηρεάζουν την επιλογή της αγωνιστικής γραμμής. Στο MotoGP, λόγω της ευκινησίας των μοτοσυκλετών και της ικανότητας να αλλάζουν γραμμές γρήγορα, οι αναβάτες συχνά υιοθετούν επιθετικές ή αμυντικές τακτικές. Μπορεί να αποκλίνουν από την παραδοσιακή γραμμή αγώνων για να εμποδίσουν τους αντιπάλους ή να δημιουργήσουν ευκαιρίες για προσπεράσεις. Στους αγώνες τεσσάρων τροχών, η γραμμή αγώνων τείνει να είναι πιο συνεπής και βελτιστοποιημένη για τη διατήρηση υψηλών ταχυτήτων σε όλη τη διάρκεια του αγώνα. Οι οδηγοί εστιάζουν στην ελαχιστοποίηση της απώλειας χρόνου, στη διασφάλιση ομαλής τροχιάς και στη βέλτιστη θέση τους για ευκαιρίες προσπέρασης.

III. Δυναμική προσπέρασης: Η προσπέραση στο MotoGP και στους αγώνες τεσσάρων τροχών παρουσιάζει διαφορετικές προκλήσεις. Στο MotoGP, η συμπαγής φύση των μοτοσυκλετών επιτρέπει πιο συχνές ευκαιρίες προσπεράσεως λόγω της ικανότητάς τους να αλλάζουν γραμμές γρήγορα και να ακολουθούν εναλλακτικές γραμμές. Οι αναβάτες MotoGP εκμεταλλεύονται αυτές τις ευκαιρίες για να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Αντίθετα, οι αγώνες τεσσάρων τροχών, με τα μεγαλύτερα και λιγότερο ευέλικτα αυτοκίνητά τους, απαιτούν σχολαστικό σχεδιασμό και ακριβή εκτέλεση ελιγμών προσπέρασης. Οι οδηγοί πρέπει να αναλύσουν τις ζώνες πέδησης, τις εξόδους στις στροφές και την τοποθέτηση του οχήματος στην πίστα για να δημιουργήσουν ευκαιρίες προσπέρασης ενώ τηρούν, κατά το δυνατόν, την αγωνιστική γραμμή.

IV. Προτιμήσεις οδηγού/αναβάτη: Ένας άλλος παράγοντας που διαμορφώνει τη γραμμή αγώνων είναι οι ατομικές προτιμήσεις των οδηγών και των αναβατών. Κάθε αγωνιζόμενος έχει ένα μοναδικό στυλ και προσέγγιση στους αγώνες, κάτι που επηρεάζει την επιλογή γραμμής του. Ενώ μπορεί να υπάρχουν γενικές οδηγίες για την αγωνιστική γραμμή, τα προσωπικά στυλ οδήγησης, τα δυνατά σημεία και τα ένστικτα συμβάλλουν στις αποφάσεις του τρόπου με τον οποίο οι οδηγοί και οι αναβάτες εκτελούν τις γραμμές τους. Συνεργάζονται στενά με τις ομάδες τους, βασιζόμενοι στην εμπειρία και τα σχόλια για να βελτιώσουν τις αγωνιστικές τους γραμμές και να μεγιστοποιήσουν την απόδοσή τους.

Η αγωνιστική γραμμή αποτελεί ένα θεμελιώδες στοιχείο που διακρίνει το MotoGP από τους αγώνες τεσσάρων τροχών. Οι ευέλικτες συγκριτικά μοτοσυκλέτες του MotoGP απαιτούν ακριβείς γωνίες κλίσης και γρήγορες αλλαγές γραμμής. Αντίθετα, οι αγώνες τεσσάρων τροχών, με την αεροδυναμική τους και τα φαρδύτερα ελαστικά, δίνουν έμφαση στη σταθερότητα και το κράτημα. Κατανοώντας και εκτιμώντας την διαφορετική φύση της αγωνιστικής γραμμής σε αυτούς τους κλάδους, μπορούμε να αποκτήσουμε μια βαθύτερη εικόνα για την τεχνική ικανότητα και τη στρατηγική οξυδέρκεια που ορίζουν τόσο το MotoGP όσο και τους αγώνες τεσσάρων τροχών ως μορφές του μηχανοκίνητου αθλητισμού.

5.5. Δυναμική οχήματος: πέδηση, μεταφορά βάρους και πρόσφυση

Στο επίκεντρο κάθε επιτυχημένης αγωνιστικής προσπάθειας στον μηχανοκίνητο αθλητισμό βρίσκεται η βαθιά κατανόηση της δυναμικής των οχημάτων. Εμβαθύνοντας στις πολυπλοκότητες της πέδησης, της μεταφοράς βάρους και της πρόσφυσης, ρίχνοντας φως στον αντίκτυπό τους στην αγωνιστική γραμμή. Κατανοώντας αυτές τις θεμελιώδεις πτυχές, οι οδηγοί και οι ομάδες τους μπορούν να αξιοποιήσουν τις πραγματικές δυνατότητες των οχημάτων τους, ξεκλειδώνοντας τελικά τα μυστικά της τέλει αγωνιστική γραμμή. [17] [18]

Η εξοικείωση με τη δυναμική του οχήματος είναι το κλειδί για την τέλεια αγωνιστική γραμμή στον μηχανοκίνητο αθλητισμό. Κατανοώντας τις περιπλοκές του φρεναρίσματος, της μεταφοράς βάρους και της πρόσφυσης, οι οδηγοί μπορούν να εκμεταλλευτούν τις πραγματικές δυνατότητες των οχημάτων τους και να επιτύχουν τη βέλτιστη απόδοση στην πίστα. Η ικανότητα χειρισμού αυτών των στοιχείων με λεπτότητα και ακρίβεια επιτρέπει στους οδηγούς να περιηγούνται στις στροφές με τη μέγιστη ταχύτητα, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο.

5.5.1. Πέδηση

Η πέδηση είναι ένα κρίσιμο στοιχείο σε κάθε μορφή μηχανοκίνητου αθλητισμού, υπαγορεύοντας την ταχύτητα εισόδου στις στροφές και θέτοντας τα θεμέλια για μια επιτυχημένη αγωνιστική γραμμή.

Η απόσταση που απαιτείται για να ακινητοποιηθεί πλήρως ένα αυτοκίνητο κατά την πέδηση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$d = \frac{v^2}{2 * \mu * g}$$

Όπου:

d : Η απόσταση πέδησης (σε μέτρα, m)

v : Η αρχική ταχύτητα του αυτοκινήτου (σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, m/s)

μ : Ο συντελεστής τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος

g : Η επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (περίπου 9,81 m/s²)

Η δύναμη πέδησης ενός αυτοκινήτου μπορεί να υπολογιστεί με βάση την μεταβολή την κινητικής ενέργειας του οχήματος (δηλαδή το έργο), χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$F = \frac{(0,5 * m * v^2)}{d}$$

Όπου:

F : Η απαιτούμενη δύναμη για να σταματήσει σε απόσταση d

m : Η μάζα του αυτοκινήτου

v : Η αρχική ταχύτητα του αυτοκινήτου (σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, m/s)

d : Η απόσταση πέδησης (σε μέτρα, m)

Λάβετε υπόψη ότι οι παραπάνω τύποι παρέχουν μια εκτίμηση της δύναμης πέδησης που απαιτείται υπό ιδανικές συνθήκες. Σε σενάρια πραγματικού κόσμου, άλλοι παράγοντες όπως η αεροδυναμική αντίσταση, η αντίσταση κύλισης και η απόδοση των φρένων επηρεάζουν επίσης τη συνολική απόδοση πέδησης ενός αυτοκινήτου.

Επιπλέον, τα σύγχρονα οχήματα είναι εξοπλισμένα με προηγμένα συστήματα πέδησης που ενσωματώνουν συστήματα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (ABS) και ηλεκτρονική κατανομή δύναμης πέδησης (EBD) για βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της σταθερότητας πέδησης.

Για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση πέδησης, οι οδηγοί πρέπει να λάβουν υπόψη αρκετούς βασικούς παράγοντες:

I. Σημεία πέδησης: Οι οδηγοί πρέπει να προσδιορίζουν τα βέλτιστα σημεία στην πίστα για να ξεκινήσουν το φρενάρισμα, τα οποία καθορίζονται από παράγοντες όπως η ακτίνα στροφής, οι συνθήκες της τροχιάς και η ταχύτητα που «μεταφέρεται» στη ζώνη πέδησης.

II. Ισορροπία πέδησης: Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ των δυνάμεων του μπροστινού και του πίσω φρένου είναι ζωτικής σημασίας για τη σταθερότητα και τον έλεγχο. Οι οδηγοί πρέπει να προσαρμόζουν το πάτημα του πεντάλ του φρένου για να αποτρέψουν το μπλοκάρισμα του τροχού ή την υπερβολική μεταφορά βάρους, μεγιστοποιώντας την απόδοση πέδησης.

III. Trail Braking (ακολουθητική πέδηση): Ο όρος "trail braking" αποδίδει την ιδέα ότι η χρήση των φρένων συνεχίζεται για ένα χρονικό διάστημα μετά την είσοδο στη στροφή. Με αυτήν την τεχνική ο οδηγός διατηρεί φορτίο στα μπροστινά ελαστικά, ώστε το αυτοκίνητο να στρίβει καλύτερα στη γωνία. Δηλαδή να περιστρέφεται (αλλάζει κατεύθυνση) καλύτερα. Επίσης μεγιστοποιεί την πρόσφυση των ελαστικών στις στροφές. Εάν ο οδηγός φτάσει στο σημείο έναρξης της στροφής και ξαφνικά αφαιρέσει το πόδι του από το πεντάλ του φρένου καθώς στρίβει, τότε θα υπάρξει ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν εκμεταλλεύεται όλη την πρόσφυση των ελαστικών, η οποία θα του προσέφερε μεγαλύτερη ταχύτητα. [19]

5.5.2. Μεταφορά βάρους

Η μεταφορά βάρους σε ένα αυτοκίνητο αναφέρεται στην ανακατανομή του βάρους μεταξύ των τεσσάρων τροχών κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης, του φρεναρίσματος και των ελιγμών στροφής. Όταν ένα αυτοκίνητο επιταχύνει, φρενάρει ή στρίβει, το βάρος μετατοπίζεται από το ένα άκρο του οχήματος στο άλλο, επηρεάζοντας τα φορτία των ελαστικών και επηρεάζοντας τα χαρακτηριστικά χειρισμού του αυτοκινήτου. Η μεταφορά βάρους μπορεί να επηρεάσει την πρόσφυση, τη σταθερότητα και τη συνολική απόδοση.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της μεταφοράς βάρους κατά την επιτάχυνση ή την πέδηση έχει ως εξής:

$$\Delta W = h * W * \alpha$$

Όπου:

ΔW : Η μεταφορά βάρους

h : Το ύψος του κέντρου βάρους. Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους του αυτοκινήτου και της επιφάνειας του δρόμου. Είναι μια βασική παράμετρος που επηρεάζει τη μεταφορά βάρους.

W : Το βάρος του αυτοκινήτου. Είναι το συνολικό βάρος του οχήματος.

Η διαμήκης επιτάχυνση ή επιβράδυνση (a) είναι ο ρυθμός επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης του αυτοκινήτου, αντίστοιχα. Οι θετικές τιμές αντιπροσωπεύουν επιτάχυνση και οι αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν επιβράδυνση.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της μεταφοράς βάρους κατά τη διάρκεια της στροφής είναι ελαφρώς διαφορετικός:

$$\Delta W = h * W * \alpha_y$$

Όπου:

α_y : Η πλευρική επιτάχυνση. Είναι η πλάγια επιτάχυνση που παρατηρείται κατά τη διάρκεια των στροφών.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μεταφορά βάρους επηρεάζει το φορτίο σε κάθε ελαστικό, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη διαθέσιμη πρόσφυση για κάθε τροχό. Η σωστή διαχείριση της μεταφοράς βάρους είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη καλού χειρισμού και σταθερότητας κατά τη διάρκεια διαφόρων ελιγμών οδήγησης. Επιπλέον, η μείωση του κέντρου βάρους και η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της ανάρτησης μπορούν να βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της μεταφοράς βάρους και να βελτιώσουν την απόδοση του οχήματος.

Η κατανόηση της μεταφοράς βάρους είναι απαραίτητη για τους οδηγούς για να χειριστούν τα οχήματά τους και να μεγιστοποιήσουν την απόδοση στις στροφές. Οι βασικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν:

- I. Μεταφορά φορτίου:** Καθώς ένα όχημα φρενάρει ή επιταχύνει, το βάρος μετατοπίζεται μεταξύ εμπρός και πίσω και μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών τροχών του οχήματος. Οι οδηγοί πρέπει να εκμεταλλευτούν αυτή τη δυναμική μεταφοράς βάρους για να βελτιστοποιήσουν την πρόσφυση και τη σταθερότητα στις στροφές.
- II. Είσοδος στη στροφή:** Μεταφέροντας το βάρος στους μπροστινούς τροχούς κατά το φρενάρισμα, οι οδηγοί αυξάνουν την πρόσφυση των μπροστινών ελαστικών, ενισχύοντας τον έλεγχο και επιτρέποντας ακριβές στρίψιμο καθώς κινούνται στην αγωνιστική γραμμή.

III. Έξοδος από τη στροφή: Καθώς οι οδηγοί επιταχύνουν από μια στροφή, το βάρος μεταφέρεται στους πίσω τροχούς, βελτιώνοντας την πρόσφυση και επιτρέποντας την έγκαιρη και αποτελεσματική εφαρμογή ισχύος για να τους επιταχύνει με προς το επόμενο ευθύ τμήμα.

5.5.3. Πρόσφυση

Με τον όρο πρόσφυση ουσιαστικά αναφερόμαστε στην τριβή μεταξύ των ελαστικών του αυτοκινήτου και της επιφάνειας στην οποία κινείται. Η πρόσφυση καθορίζει πόσο αποτελεσματικά ένα όχημα μεταφέρει τη δύναμή του κινητήρα του, μέσω των ελαστικών, στην επιφάνεια της πίστας.

Η πρόσφυση μεταξύ ενός τροχού αυτοκινήτου και της επιφάνειας μπορεί να εκφραστεί ως:

$$F_t = \mu_t * W = \mu_t * m * g$$

Όπου:

F_t : Η δύναμη πρόσφυσης

μ_t : Ο συντελεστής πρόσφυσης - ή τριβής - μεταξύ του τροχού και της επιφάνειας

W : Το βάρος ή η κατακόρυφη δύναμη μεταξύ τροχού και επιφάνειας

m : Η μάζα ανά τροχό

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας

Η κεντρομόλος δύναμη που απαιτείται για την κυκλική κίνηση δίνεται από:

$$F_c = m * a_c = m * \frac{u^2}{r}$$

Όπου:

F_c : Η κεντρομόλος δύναμη

a_c : Η κεντρομόλος επιτάχυνση

m : Η μάζα ανά τροχό

r : Η ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς

Για να μην ολισθαίνει το όχημα πρέπει:

$$m * \frac{u^2}{r} = \mu_t * mg$$

Αντικαθιστώντας και απλοποιώντας:

$$\frac{u^2}{r} = \mu_t * g$$

$$u^2 = \mu_t * r * g$$

$$u = \sqrt{\mu_t * r * g}$$

Αυτή η εξίσωση μας δίνει την ταχύτητα u του οχήματος που μπορεί να επιτύχει σε μια καμπύλη πορεία με ακτίνα καμπυλότητας r χωρίς να ολισθαίνει λόγω της τριβής μ_t με το δρόμο.

Επιφάνεια	Στεγνό		Υγρό	
	<48km/h	>48km/h	<48km/h	>48km/h
Τσιμέντο				
Άφθαρτο	0,80-1,20	0,70-1,00	0,50-0,80	0,40-0,75
Λίγο φθαρμένο	0,60-0,80	0,60-0,75	0,45-0,70	0,45-0,65
Πολύ φθαρμένο	0,55-0,75	0,50-0,65	0,45-0,65	0,45-0,60
Άσφαλτος				
Άφθαρτη	0,80-1,20	0,65-1,00	0,50-0,80	0,45-0,75
Λίγο φθαρμένη	0,60-0,80	0,55-0,70	0,45-0,70	0,40-0,65
Πολύ φθαρμένη	0,55-0,75	0,45-0,65	0,45-0,65	0,40-0,60
Υπερβολική πίσσα	0,50-0,60	0,35-0,60	0,30-0,60	0,25-0,55
Αμμοχάλικο				
Πιεσμένο	0,55-0,85	0,50-0,80	0,40-0,80	0,40-0,60
Χαλαρό	0,40-0,70	0,40-0,70	0,45-0,75	0,45-0,75
Στάχτη	0,50-0,70	0,50-0,70	0,65-0,75	0,65-0,75
Χαλίκι	0,55-0,75	0,55-0,75	0,55-0,75	0,55-0,75
Πάγος	0,10-0,25	0,07-0,20	0,05-0,10	0,05-0,10
Χιόνι				
Πιεσμένο	0,30-0,55	0,35-0,55	0,30-0,60	0,30-0,60
Χαλαρό	0,10-0,25	0,10-0,20	0,30-0,60	0,30-0,60

Πίνακας 2 Συντελεστές πρόσφυσης μ_t [20]

Η παρακάτω εξίσωση χρησιμοποιείται στη δυναμική οχημάτων για τον υπολογισμό της πρόσφυσης που μπορεί να παράγει ένα όχημα με βάση τη ροπή του κινητήρα και την ακτίνα των τροχών:

$$F_t = T_e / r$$

Όπου:

F_t : Η πρόσφυση.

T_e : Η ροπή του κινητήρα. Είναι η δύναμη περιστροφής που παράγεται από τον κινητήρα και μεταδίδεται στους τροχούς.

r : Ακτίνα ελαστικών κίνησης. Είναι η πραγματική ακτίνα των ελαστικών που κινούνται από τη ροπή του κινητήρα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η πραγματική ακτίνα των ελαστικών λαμβάνεται υπόψη επειδή καθώς ένα όχημα κινείται, τα ελαστικά μπορούν να συμπιεστούν ελαφρώς, επηρεάζοντας την ακτίνα και, κατά συνέπεια, την πρόσφυση.

Η παραπάνω εξίσωση προϋποθέτει ότι το όχημα δεν ολισθαίνει και ότι η δύναμη τριβής μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος είναι επαρκής για να αποτρέψει την ολίσθηση των τροχών.

Η δύναμη έλξης πρέπει να υπερνικά τις δυνάμεις αντίστασης που δρουν ενάντια στην κίνηση του οχήματος, όπως η τριβή, η αντίσταση του αέρα και η αντίσταση κύλισης, ώστε να επιτρέπεται στο όχημα να επιταχύνει και να διατηρεί ταχύτητα. Εάν η πρόσφυση δεν επαρκεί για να υπερνικήσει αυτές τις δυνάμεις αντίστασης, το όχημα

μπορεί να παρουσιάσει ολίσθηση των τροχών, ειδικά σε συνθήκες χαμηλής πρόσφυσης.

Για να μεγιστοποιήσουν την πρόσφυση, οι οδηγοί πρέπει να λάβουν υπόψη τις ακόλουθες πτυχές:

- I. Κράτημα ελαστικού:** Το σημείο επαφής του ελαστικού με την επιφάνεια της πίστας είναι η μοναδική διεπαφή για τη δημιουργία πρόσφυσης. Οι οδηγοί πρέπει να βελτιστοποιούν την πρόσφυση των ελαστικών μέσω της κατάλληλης επιλογής ελαστικών, της ρύθμισης της πίεσης των ελαστικών και της διατήρησης της βέλτιστης θερμοκρασίας για μέγιστη απόδοση.
- II. Έλεγχος γκαζιού:** Η ομαλή και προοδευτική εφαρμογή του γκαζιού επιτρέπει στους οδηγούς να ρυθμίζουν την παροχή ισχύος, αποτρέποντας το σπινάρισμα του τροχού και μεγιστοποιώντας την πρόσφυση κατά την έξοδο από τη στροφή.
- III. Κατανομή βάρους:** Κατά την επιτάχυνση, το βάρος μεταφέρεται στους πίσω τροχούς, αυξάνοντας την πρόσφυση τους και επιτρέποντας την αποτελεσματική παροχή ισχύος. Αντίστοιχα, κατά το φρενάρισμα το βάρος μεταφέρεται στους εμπρός τροχούς, ενισχύοντας την πρόσφυση τους και παρέχοντας σταθερότητα. Με την χειραγώγηση της μεταφοράς βάρους μέσω του φρεναρίσματος και της επιτάχυνσης, οι οδηγοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανομή βάρους και να ενισχύσουν την πρόσφυση, διασφαλίζοντας ότι κάθε ελαστικό μπορεί να μεταφέρει αποτελεσματικά την ισχύ στην επιφάνεια της πίστας.

5.6. Τεχνολογίες Αισθητήρων και Συλλογή Δεδομένου

5.6.1. Η σημασία των αισθητήρων

Η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών αισθητήρων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ακριβή συλλογή και ανάλυση δεδομένων στον μηχανοκίνητο αθλητισμό. Οι αισθητήρες παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του οχήματος και τη συμπεριφορά του οδηγού, επιτρέποντας τη διαμόρφωση στρατηγικών για τη βελτιστοποίηση της αγωνιστικής γραμμής και την ενίσχυση της ασφάλειας των συμμετεχόντων. [21]

5.6.2. Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της επιτάχυνσης του οχήματος σε διάφορους άξονες. Εγκαθίστανται σε καίρια σημεία του οχήματος και παρέχουν δεδομένα επιτάχυνσης κατά μήκος των αξόνων x, y και z. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανάλυσης της δυναμικής του οχήματος, ιδίως σε σχέση με την πέδηση, την επιτάχυνση και την αλλαγή κατεύθυνσης στις στροφές. Οι επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της δυναμικής του οχήματος, καταγράφοντας την επιτάχυνση κατά τη διάρκεια στροφών και ευθειών, βοηθώντας στην κατανόηση της συμπεριφοράς του οχήματος. Επίσης, ανιχνεύουν απότομες μεταβολές στην επιτάχυνση που μπορεί να υποδηλώνουν σύγκρουση ή απώλεια ελέγχου. Επιπλέον, συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του οχήματος μέσω της ρύθμισης των αναρτήσεων και της κατανομής του βάρους, με στόχο την καλύτερη πρόσφυση και σταθερότητα.

5.6.3. Δέκτες GNSS

Οι δέκτες GNSS (Global Navigation Satellite System) προσφέρουν ακριβή δεδομένα θέσης του οχήματος σε πραγματικό χρόνο. Είναι ικανοί να παρέχουν ακριβή χαρτογράφηση της αγωνιστικής διαδρομής, καθιστώντας δυνατή την τοποθέτηση του οχήματος με ακρίβεια εκατοστών σε κάθε σημείο της πίστας. Οι δέκτες GNSS χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών της πίστας και την ακριβή παρακολούθηση της θέσης του οχήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Αυτό επιτρέπει την ανάλυση της αγωνιστικής γραμμής και τη βελτιστοποίησή της, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνει την αξιολόγηση της απόδοσης του οδηγού μέσω της σύγκρισης διαδρομών διαφορετικών γύρων και την αναγνώριση περιοχών που χρειάζονται βελτίωση.

5.6.4. Γυροσκόπια

Τα γυροσκόπια μετρούν τη γωνιακή ταχύτητα του οχήματος γύρω από τους άξονες x, y και z, καθιστώντας δυνατή την ανάλυση της περιστροφικής κίνησης του οχήματος και την κατανόηση της σταθερότητάς του κατά τη διάρκεια στροφών. Οι μετρήσεις αυτές είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση της απόδοσης του οχήματος στις

στροφές, καθώς επιτρέπουν την εκτίμηση της γωνιακής ταχύτητας και, κατ' επέκταση, της ικανότητας του οχήματος να διατηρεί σταθερή πορεία. Τα γυροσκόπια συμβάλλουν επίσης στη σταθεροποίηση του οχήματος, καθώς τα δεδομένα που παρέχουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση των συστημάτων σταθεροποίησης, αποφεύγοντας την ολίσθηση και βελτιώνοντας την πρόσφυση. Τέλος, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλων κίνησης που προβλέπουν τη συμπεριφορά του οχήματος, επιτρέποντας ακριβέστερες αναλύσεις.

5.6.5. Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση της απόδοσης του οχήματος και την ανάπτυξη στρατηγικών βελτιστοποίησης. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύονται για μεταγενέστερη ανάλυση. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων απαιτεί τη χρήση προηγμένων αλγορίθμων και λογισμικού για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών.

5.6.5.1. Βήματα Συλλογής και Επεξεργασίας

- I. Συλλογή Δεδομένων:** Οι αισθητήρες τοποθετούνται στο όχημα και συνδέονται με ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων. Τα δεδομένα συλλέγονται συνεχώς κατά τη διάρκεια της οδήγησης.
- II. Αποθήκευση Δεδομένων:** Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων ή σε μια κάρτα μνήμης για μεταγενέστερη ανάλυση.
- III. Επεξεργασία Δεδομένων:** Τα δεδομένα μεταφέρονται σε έναν υπολογιστή όπου επεξεργάζονται με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Οι αλγόριθμοι ανάλυσης εξάγουν κρίσιμες πληροφορίες για την απόδοση του οχήματος και του οδηγού.
- IV. Ανάλυση και Παρουσίαση:** Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων και αναφορών, επιτρέποντας την αναγνώριση των περιοχών που χρειάζονται βελτίωση.

5.6.6. Προκλήσεις και Προοπτικές

Η χρήση αισθητήρων στον μηχανοκίνητο αθλητισμό συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως η εξασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων και η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Ακόμα και οι πλέον εξελιγμένοι αισθητήρες ενδέχεται να επηρεαστούν από εξωτερικούς παράγοντες, γεγονός που απαιτεί την εφαρμογή τεχνικών, όπως το φίλτρο Kalman, για τη βελτίωση της ακρίβειας. Παράλληλα, η επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο αποτελεί άλλη μία πρόκληση, καθώς απαιτεί υψηλές υπολογιστικές δυνατότητες και εξελιγμένο λογισμικό.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές είναι εξίσου ενθαρρυντικές. Η συνεχής βελτίωση των αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς στρατηγικές βελτιστοποίησης, ενώ η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει την ανάπτυξη συστημάτων που προσαρμόζονται και βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Τέλος, η εξέλιξη των αισθητήρων προς μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία, σε συνδυασμό με νέες τεχνικές κατασκευής, υπόσχεται σημαντική πρόοδο τόσο στην απόδοση όσο και στην ασφάλεια του οχήματος.

6. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1. Υλικό

Στα πλαίσια του σχεδιασμού του ηλεκτρονικού συστήματος υποβοήθησης έπρεπε να ληφθούν πολλές αποφάσεις. Έπρεπε να καθοριστεί ο τρόπος συλλογής των δεδομένων, ο τρόπος και ο τόπος επεξεργασίας τους, ο τρόπος παρουσίασης της πληροφορίας στον οδηγό. Η ακρίβεια των δεδομένων που συλλέγουμε και ο χρόνος επεξεργασίας τους ήταν δύο παράγοντες υψίστης σημασίας.

Η επιλογή ενός υπολογιστή μονής πλακέτας, που θα επεξεργάζεται άμεσα τα δεδομένα που θα συλλέγονται από έναν δέκτη GPS και θα τα παρουσιάζει στον οδηγό με την μορφή φωτεινού σήματος κρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη.

6.1.1. Υπολογιστής μονής πλακέτας

Ένας υπολογιστής μονής πλακέτας (SBC) είναι ένας πλήρης, λειτουργικός υπολογιστής στον οποίο ο μικροεπεξεργαστής, οι λειτουργίες εισόδου / εξόδου (I/O), η μνήμη και άλλα χαρακτηριστικά είναι όλα χτισμένα σε μια πλακέτα κυκλώματος, με ενσωματωμένη μνήμη RAM σε προκαθορισμένη ποσότητα και χωρίς υποδοχές επέκτασης για περιφερειακά.

Ο απλός σχεδιασμός τους μπορεί να φαίνεται αντίθετος με τις πολλαπλές διαμορφώσεις που προσφέρονται στους σύγχρονους προσωπικούς υπολογιστές, αλλά αυτή η απλότητα οδηγεί σε αξιοπιστία και οικονομία που καθιστά τα SBCs ιδανικά ως ενσωματωμένους υπολογιστές που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία σύνθετων συσκευών.

Ενώ οι επιτραπέζιοι υπολογιστές και τα δίκτυα υπολογιστών τονίζουν την προσαρμοστικότητά τους στις προτιμήσεις των μεμονωμένων χρηστών, η απλοϊκή, αμετάβλητη δομή ενός SBC έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά λιγότερα "σφάλματα", διενέξεις και άλλα ζητήματα που συχνά προκαλούν διακοπή λειτουργίας ενός συστήματος.

Ένας υπολογιστής μίας πλακέτας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς όπως βιομηχανικούς, ακαδημαϊκούς, πολύ συχνά και οικιακούς.

Το μικρό τους μέγεθος, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η υψηλή αξιοπιστία των SBC τους καθιστά προτιμώμενους υπολογιστές για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπως η βιομηχανία οπλικών συστημάτων (συστήματα καθοδήγησης πυραύλων), η αυτοκινητοβιομηχανία (συστήματα αντιμπλοκαρίσματος τροχών και ελέγχου ευστάθειας αυτοκινήτων, συστήματα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας), ιατρική βιομηχανία (ιατρικά μηχανήματα απεικόνισης) κ.λπ.

Οι υπολογιστές μίας πλακέτας χρησιμοποιούνται επίσης ως υπολογιστές χαμηλού κόστους σε ακαδημαϊκά και ερευνητικά περιβάλλοντα. Η χρήση υπολογιστών μίας

πλακέτας σε ενσωματωμένα (embedded) συστήματα είναι πολύ διαδεδομένη και πολλά άτομα και οργανισμοί έχουν αναπτύξει και κυκλοφορήσει πλήρως λειτουργικά προϊόντα που βασίζονται σε υπολογιστές μίας πλακέτας. Ενώ οι υπολογιστές μονής πλακέτας σχεδιάστηκαν αρχικά για βιομηχανικές εφαρμογές, τώρα βρίσκουν το δρόμο τους και προς την οικιακή χρήση. [22]

Μια κοινή οικιακή χρήση για έναν υπολογιστή μίας πλακέτας είναι ως οικιακός διακομιστής. Ο οικιακός διακομιστής είναι ένας υπολογιστής που διατηρεί ψηφιακά αρχεία (πχ της μουσικής, των ταινιών και των φωτογραφιών) και τα μοιράζεται με τους άλλους υπολογιστές εντός ή και εκτός του κτιρίου. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως διακομιστής πολυμέσων για ροή πολυμέσων σε άλλες συσκευές. Οι διακομιστές είναι συνήθως πάντα ενεργοποιημένοι, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να καταναλώνουν πολύ λίγη ηλεκτρική ενέργεια, κάτι που αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό των υπολογιστών μονής πλακέτας. Ένας υπολογιστής μονής πλακέτας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως επιτραπέζιος υπολογιστής, κέντρο πολυμέσων ή ακόμα και κονσόλα παιχνιδιών.

Τα πλεονεκτήματα ενός υπολογιστή μονής πλακέτας συγκριτικά με έναν τυπικό υπολογιστή συνοψίζονται ως:

- I. Μεγαλύτερη αντοχή σε κραδασμούς
- II. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- III. Μικρότερο μέγεθος
- IV. Καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα
- V. Μικρότερη έκλυση θερμότητας
- VI. Μικρότερο κόστος αγοράς

6.1.1.1. Ιστορικά Στοιχεία

Ο πρώτος υπολογιστής μονής πλακέτας που ονομάζεται *dyna-micro* βασίστηκε στον Intel C8080A και χρησιμοποίησε επίσης την πρώτη EPROM (erasable programmable read-only memory/απαλείψιμη, προγραμματίσιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση) της Intel, την C1702A. Ο *dyna-micro* μετονομάστηκε από την E&L Instruments του Ντέρμπι του Κονέκτικατ το 1976 σε "MMD-1" (Mini-Micro Designer 1) και έγινε διάσημο ως το παράδειγμα μικροϋπολογιστή στην πολύ δημοφιλή σειρά 8080 "BugBook" της εποχής.

Οι SBCs κατείχαν επίσης σημαντικό ρόλο στην πρώιμη ιστορία των οικιακών υπολογιστών, για παράδειγμα ο Acorn Electron και ο BBC Micro. Άλλοι πρώιμοι υπολογιστές μονής πλακέτας όπως ο KIM-1 αποστέλλονταν συχνά χωρίς περίβλημα, το οποίο έπρεπε να προστεθεί από τον ιδιοκτήτη.



Εικόνα 17. Το BBC Micro.

Καθώς η αγορά υπολογιστών έγινε πιο διαδεδομένη, οι υπολογιστές μονής πλακέτας μειώθηκαν. Τα κύρια εξαρτήματα άρχισαν να τοποθετούνται σε μια μητρική πλακέτα και τα περιφερειακά εξαρτήματα όπως ελεγκτές σκληρού δίσκου και επεξεργαστές γραφικών βρισκόνταν σε θυγατρικές πλακέτες. Η διαθεσιμότητα όμως, πλέον, προηγμένων chipset που παρέχουν τις περισσότερες από τις δυνατότητες εισόδου/εξόδου ως ενσωματωμένα στοιχεία, επιτρέπει στους κατασκευαστές μητρικών καρτών να προσφέρουν μητρικές κάρτες με I/O που παραδοσιακά παρέχονταν από θυγατρικές πλακέτες

6.1.1.2. Επιλογή υπολογιστή μονής πλακέτας

Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος λοιπόν, επιλέχθηκε η χρήση SBC και συγκεκριμένα ενός Raspberry Pi 4 B για τους εξής βασικούς λόγους:

- I. Μικρό μέγεθος.** Ενώ ένας υπολογιστής μορφής mini-ITX είναι βασισμένος σε μια μητρική πλακέτα διαστάσεων 17 x 17 cm, οι υπολογιστές SBC βασίζονται σε πλακέτες με μικρότερα μεγέθη, από μέγεθος USB-stick έως το μέγεθος μιας πιστωτικής κάρτας. Το Raspberry Pi συγκεκριμένα, έχει μέγεθος 8,5 x 5,3 cm το οποίο το καθιστά μια εξαιρετική επιλογή για την ύπαρξη του μέσα σε ένα αγωνιστικό όχημα.
- II. Χαμηλή τιμή.** Οι SBC είναι γενικά μια οικονομική λύση, τόσο πολύ ώστε ορισμένα έργα που χρησιμοποιούν αυτούς τους υπολογιστές να προκύπτουν κατά πολύ φθηνότερα από το τυπικό τους ισοδύναμο. Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό τους, συμβαδίζει απόλυτα με τον αρχικό μας στόχο για την κατασκευή ενός συστήματος, προσιτό στον καθένα.
- III. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.** Οι SBC έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια συγκριτικά με έναν επεξεργαστή για μητρική mini-ATX, αφού άλλωστε και η απόδοσή τους είναι πολύ μικρότερη. Η απόδοση του SoC της Broadcom «BCM2711» που φέρει το Raspberry Pi 4 B κρίνεται ικανοποιητική για τον ρυθμό επεξεργασίας που χρειαζόμαστε και η απαιτούμενη ισχύς των

15 Watt μπορεί να προσφερθεί ακόμη και από τον αναπτήρα ενός συμβατικού αυτοκινήτου.

IV. Μεγαλύτερη αντοχή σε κραδασμούς και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

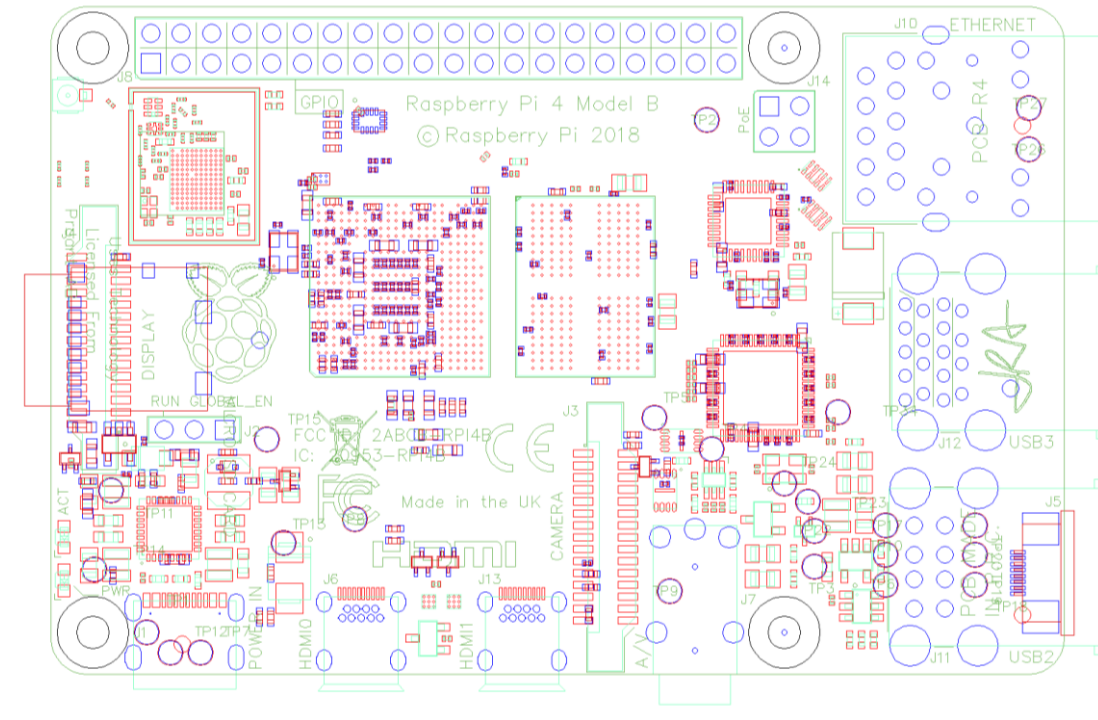
Ένας υπολογιστής που αποτελείται από πολλαπλές πλακέτες δεν θα μπορούσε να έχει την ίδια αντοχή στους κραδασμούς, συγκριτικά με έναν υπολογιστή μονής πλακέτας. Οι SBC έχουν λιγότερες συνδέσεις εξαρτημάτων και άρα μικρότερη πιθανότητα κάτι να πάει στραβά.



Εικόνα 18. Το Raspberry Pi 4 B. [23]

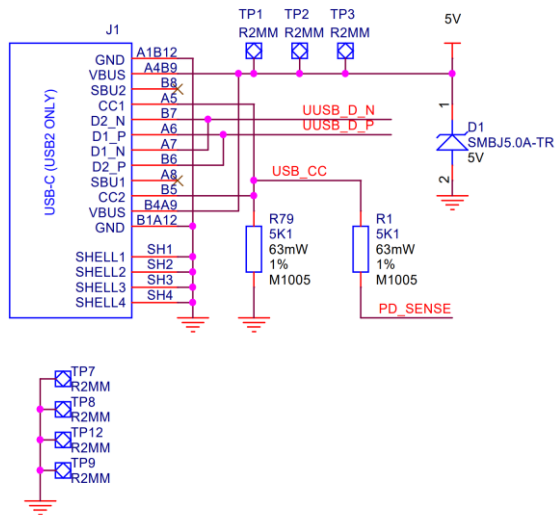
Μικροϋπολογιστής	Raspberry Pi 4 B
SoC	Broadcom BCM2711
CPU	4× Cortex-A72 1.5 GHz or 1.8 GHz
GPU	Broadcom VideoCore VI @ 500 MHz
Μνήμη	8 GB
Μορφή	Standard 85.60 mm × 56.5 mm × 17 mm
Θύρες USB	2 x USB 2.0 & 2 x USB 3.0
Ethernet	10/100/1000 Mbit/s
Wireless	b/g/n/ac dual band 2.4/5 GHz
Bluetooth	5.0
GPIO	40-pin
Παροχή ενέργειας	5 V μέσω USB-C, GPIO header, ή PoE (μέσω του PoE HAT)

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά SBC Raspberry Pi 4 B



Εικόνα 19. Μηχανολογικό σχέδιο του Raspberry Pi 4 B.

USB-C POWER IN



Εικόνα 20. Ηλεκτρικό διάγραμμα τροφοδοσίας μέσω θύρας USB-C.

6.1.2. Δέκτης Σήματος Δορυφορικού Συστήματος Στιγματοθέτησης

Η δορυφορική στιγματοθέτηση ή θεσηθεσία βασίζεται σε ένα παγκόσμιο δίκτυο δορυφόρων σε μεσαίες τροχιές που μεταδίδουν ραδιοσήματα. Τα Δορυφορικά Συστήματα Στιγματοθέτησης έχουν τις ρίζες του στην εποχή των Σπούτνικ, όταν οι επιστήμονες εντόπιζαν την θέση του δορυφόρου βάση από τις μεταβολές στα ραδιοσήματα του, γνωστό ως «Φαινόμενο Doppler», το οποίο έγινε η θεμελιώδης ιδέα για το σύγχρονο GPS. [24]

Οι σχεδιαστικοί συμβιβασμοί έχουν οδηγήσει στην μέση γήινη τροχιά (MEO) medium-Earth orbit ως το βέλτιστο υπόμετρο για δορυφορικούς σχηματισμούς πλοήγησης GPS (το διαστημικό τμήμα), ξεκινώντας από το GPS των ΗΠΑ και το ρωσικό Glonass. Υπάρχουν σοβαροί πρακτικοί λόγοι για αυτό: οι μεσαίες γήινες τροχιές είναι σχετικά σταθερές και οι δορυφόροι κινούνται στον ουρανό σχετικά αργά. Οι χαμηλότερες τροχιές θα απαιτούσαν περισσότερους δορυφόρους για να διατηρήσουν την ίδια κάλυψη, ενώ οι υψηλότερες τροχιές θα μείωναν την ακρίβεια εντοπισμού.

Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ατομικά ρολόγια και παρακολουθούνται από ένα εκτεταμένο δίκτυο επίγειων υποδομών (το τμήμα ελέγχου). Το επίγειο αυτό δίκτυο απλώνεται παγκοσμίως για την ανοδική ζεύξη των σημάτων πλοήγησης, τη διατήρηση συγχρονισμού των ατομικών ρολογιών του σχηματισμού και την τυχόν διόρθωση χρονισμού ή απόκλισης θέσης των δορυφόρων. Κάθε δορυφόρος μεταδίδει τη θέση και το χρόνο του σε τακτά χρονικά διαστήματα και αυτά τα σήματα λαμβάνονται από δέκτες GPS (το τμήμα χρήση). Ο δέκτης είναι σε θέση να καθορίσει τη θέση του υπολογίζοντας πόσος χρόνος χρειάστηκε για να φτάσουν τα ραδιοσήματα. [25]

Οι χρήστες της δορυφορικής πλοήγησης είναι πιο εξοικειωμένοι με τους 31 επιχειρησιακούς δορυφόρους του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης (GPS) που ανήκει στην κυβέρνηση των ΗΠΑ και λειτουργεί από την Πολεμική Αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών (USAF). Τρεις άλλοι αστερισμοί παρέχουν επίσης παρόμοιες υπηρεσίες. Συλλογικά, αυτοί οι σχηματισμοί και οι ενισχύσεις τους ονομάζονται Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS). Οι άλλοι σχηματισμοί είναι το GLONASS που αναπτύχθηκε και λειτουργεί από τη Ρωσική Ομοσπονδία, το Galileo που αναπτύχθηκε και λειτουργεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το BeiDou, που αναπτύχθηκε και λειτουργεί από την Κίνα. Όλοι οι παραπάνω πάροχοι στιγματοθέτησης έχουν προσφέρει δωρεάν χρήση των αντίστοιχων συστημάτων τους στη διεθνή κοινότητα. Όλοι οι πάροχοι έχουν αναπτύξει Πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) και συνιστώμενες πρακτικές για την υποστήριξη της χρήσης αυτών των δορυφορικών σχηματισμών για την αεροπορία. Υπάρχουν αρκετά ακόμα περιφερειακά δορυφορικά συστήματα όπως το δορυφορικό σύστημα Quasi-Zenith της Ιαπωνίας (QZSS), το οποίο είναι ένα δορυφορικό σύστημα ενίσχυσης του GPS (ΗΠΑ) για την ενίσχυση της ακρίβειας του. Η ανεξαρτητοποίηση του από το GPS έχει προγραμματιστεί για το 2023. [26] Το Ινδικό Περιφερειακό Δορυφορικό Σύστημα Στιγματοθέτησης (IRNSS) σχεδιάζει να επεκταθεί σε μια παγκόσμια έκδοση μακροπρόθεσμα. [27]

Η παγκόσμια κάλυψη επιτυγχάνεται γενικά από έναν δορυφορικό αστερισμό 18-30 δορυφόρων μέσης γήινης τροχιάς (ΜΕΟ) που κατανέμονται μεταξύ πολλών τροχιακών επιπέδων. Το τροχιακό επίπεδο ενός περιστρεφόμενου σώματος είναι το γεωμετρικό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται η τροχιά του. Τρία σημεία στο διάστημα αρκούν για να προσδιορίσουν ένα τροχιακό επίπεδο. Ένα παράδειγμα θα ήταν οι θέσεις του κέντρου ενός τεράστιου σώματος / σημείου αναφοράς (πχ Γη) και ενός ουράνιου σώματος σε τροχιά (πχ δορυφόρος GPS) σε δύο διαφορετικούς χρόνους / σημεία της τροχιάς του. Τα συστήματα ποικίλλουν, αλλά όλα χρησιμοποιούν τροχιακές κλίσεις $>50^\circ$ και τροχιακές περιόδους περίπου δώδεκα ωρών (σε υψόμετρο περίπου 20.000 χιλιομέτρων).

Η βασική υπηρεσία GPS παρέχει στους χρήστες ακρίβεια περίπου 7,0 μέτρων, 95% του χρόνου, οπουδήποτε πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης. Για να επιτευχθεί αυτό, κάθε ένας από τους 31 δορυφόρους εκπέμπει σήματα που επιτρέπουν στους δέκτες μέσω ενός συνδυασμού σημάτων από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, να προσδιορίσουν τη θέση και το χρόνο τους. Τα ατομικά ρολόγια των που φέρουν οι δορυφόροι παρέχουν εξαιρετικά ακριβή χρόνο. Οι πληροφορίες ώρας τοποθετούνται στους κωδικούς που μεταδίδονται από το δορυφόρο, έτσι ώστε ένας δέκτης να μπορεί να καθορίζει συνεχώς την ώρα εκπομπής του σήματος.

Το σήμα περιέχει δεδομένα που χρησιμοποιεί ένας δέκτης για να υπολογίσει τις θέσεις των δορυφόρων και να κάνει άλλες προσαρμογές που απαιτούνται για την ακριβή τοποθέτηση.

Ο δέκτης χρησιμοποιεί τη διαφορά ώρας μεταξύ του χρόνου λήψης σήματος και του χρόνου εκπομπής για να υπολογίσει την απόσταση ή το εύρος από τον δέκτη στον δορυφόρο.

Ο δέκτης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις καθυστερήσεις διάδοσης του σήματος που προκαλούνται από την ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα. Με πληροφορίες σχετικά με την απόσταση από τρεις δορυφόρους και τη θέση των δορυφόρων όταν στάλθηκαν τα σήματα, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τη δική του τρισδιάστατη θέση, ωστόσο απαιτείται ατομικό ρολόι συγχρονισμένο με το GPS για τον υπολογισμό των αποστάσεων μέσω αυτών των τριών σημάτων. Λαμβάνοντας όμως μια μέτρηση από έναν τέταρτο δορυφόρο, ο δέκτης αποφεύγει την ανάγκη για ατομικό ρολόι. Έτσι, οι δέκτες συνήθως χρησιμοποιούν τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους για να υπολογίσουν το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το υψόμετρο και το χρόνο. [28]

6.1.2.1. Πιστότητα και Ακρίβεια

Η ακρίβεια και η πιστότητα του Συστήματος Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS) αποτελούν δύο βασικές παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα και αξιοπιστία των δεδομένων που παρέχονται από το GNSS.

Η ακρίβεια αναφέρεται στο βαθμό σύγκλισης της μετρούμενης θέσης με την πραγματική θέση του σημείου ενδιαφέροντος. Με άλλα λόγια, καθορίζει το πόσο κοντά βρίσκεται η υπολογισθείσα θέση μέσω GNSS στην ακριβή γεωγραφική θέση

του αντικειμένου ή σημείου. Η ακρίβεια των μετρήσεων επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο αριθμός και η γεωμετρία των δορυφόρων που βρίσκονται σε ευθυγράμμιση, η ισχύς και ποιότητα του σήματος, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα), και οι ιδιότητες του δέκτη GNSS.

Η πιστότητα, από την άλλη, αναφέρεται στη συνέπεια ή επαναληψιμότητα των μετρήσεων GNSS. Αξιολογεί την εγγύτητα μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων υπό τις ίδιες συνθήκες. Επηρεάζεται κυρίως από την ποιότητα του δέκτη, την ευαισθησία του και τις τεχνικές μέτρησης που εφαρμόζονται.

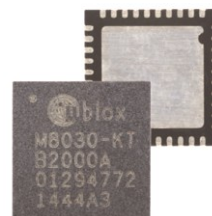
Συνοπτικά, η ακρίβεια μετρά πόσο κοντά είναι μια μέτρηση GNSS στην πραγματική θέση, ενώ η πιστότητα μετρά το βαθμό επαναληψιμότητας των μετρήσεων. Η σημασία και των δύο αυτών παραμέτρων είναι θεμελιώδης για τη διασφάλιση αξιόπιστων και ακριβών δεδομένων από το GNSS.

6.1.2.2. Επιλογή Δέκτη

Ο δέκτης GNSS που επιλέχθηκε κατά την διαδικασία σχεδιασμού είναι ο GNSS100L. Ο συγκεκριμένος δέκτης είναι ένας εύχρηστος, υψηλής απόδοσης, χαμηλής ισχύος δέκτης GNSS. Το ενσωματωμένο τσιπ U-Blox8 παρέχει γρήγορη αρχική ανίχνευση θέσης και σταθερή διαρκή σιγματοθέτηση. Το GNSS100L υποστηρίζει τρία δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης – το GPS, το GALILEO και το BeiDou. Ο ρυθμός ανανέωσης του σήματος είναι από προεπιλογή του κατασκευαστή 1 Hz αλλά με τις κατάλληλες ρυθμίσεις μπορεί να φτάσει έως και τα 18 Hz. Επιπλέον, αυτός ο δέκτης υιοθετεί διεπαφή USB, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα σε υπολογιστές μονής πλακέτας όπως τα Raspberry Pi.



Εικόνα 21. Δέκτης GNSS100L.



Εικόνα 22. GNSS Chip UBX-M8030-KT.

Δέκτης GNSS	GNSS100L (UBX-M8030-KT)
--------------------	------------------------------------

Τύπος δέκτη	UBX-M8030-KT 72 καναλιών GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L10F, BeiDou B1, Galileo E1B/C SBAS L1 C/A: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN		
Ευαισθησία Παρακολούθηση	&	-167 dBm	
Πλοήγηση:		-160 dBm	
Επανάκτηση:		-148 dBm	
Κρύα εκκίνηση:		-157 dBm	
Θερμή εκκίνηση:			
Ακρίβεια σήματος χρονικού παλμού		30 ns (RMS) <60 ns (99%)	
Χρονικός παλμός Συχνότητα		0,25 Hz ~ 10 MHz	
Χρόνος μέχρι την πρώτη διόρθωση		(50% -130dBm)	
Θερμή εκκίνηση:		1,5 s	
Ψυχρή εκκίνηση:		26 s	
Ρυθμός ανανέωσης		Μέγιστος: 10 Hz, GPS & GLONASS ή GPS & Beidou Μέγιστος: 18 Hz, μόνο με GPS Προεπιλογή: 1 Hz	
Μέγιστο Υψόμετρο		50.000 m	
Μέγιστη Ταχύτητα		<1.852 km/h	
Υποστήριξη πρωτοκόλλου		NMEA 0183 v2.3 and V4.x, UBX	
Μηνύματα NMEA		RMC, VTG, GGA, GSA, GSV, GLL, TXT	
Υποστήριξη SBAS		WAAS, EGNOS, MSAS	

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά δέκτη GNSS100L.



Εικόνα 23. Ακροδέκτες USB.

USB TYPE A	PIN	Όνομα PIN	I/O	Περιγραφή
USB PIN	1	VCC	I	DC 3.6 ~ 5.5V, Τυπικό: 5.0V
	2	D-	O	USB D-
	3	D+	I	USB D+
	4	GND	G	Γείωση

Πίνακας 5. Διάταξη και περιγραφή ακροδεκτών USB.

6.2.1.1. Επιλογή Γλώσσας Προγραμματισμού

Η Python είναι μια αντικειμενοστραφής, ερμηνευόμενη και διαδραστική γλώσσα προγραμματισμού. Συχνά συγκρίνεται με τις Lisp, Perl, Ruby, C#, Visual Basic και Java.

Η Python συνδυάζει αξιοσημείωτη δύναμη με πολύ σαφή σύνταξη. Διαθέτει δομοστοιχεία, κλάσεις, εξαιρέσεις, δυναμικούς τύπους δεδομένων πολύ υψηλού επιπέδου και δυναμική πληκτρολόγηση. Υπάρχουν διεπαφές σε πολλές κλήσεις συστήματος και βιβλιοθήκες, καθώς και σε διάφορα συστήματα παραθύρων (πρωτόκολλα απεικόνισης για τη δημιουργία "παραθύρων" στην οθόνη ενός υπολογιστή). Τα νέα δομοστοιχεία γράφονται εύκολα σε C ή C++ (ή σε άλλες γλώσσες, ανάλογα με την επιλεγμένη υλοποίηση). Η Python μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως γλώσσα δομοστοιχείων για εφαρμογές γραμμένες σε άλλες γλώσσες. [30]

Η Python επιλέχθηκε για τους παρακάτω λόγους:

- I. Έχει απλή σύνταξη** που μιμείται τη φυσική γλώσσα, οπότε είναι πιο εύκολο να διαβαστεί και να κατανοηθεί. Αυτό καθιστά ταχύτερη τη δημιουργία έργων και ταχύτερη την βελτίωσή τους.
- II. Είναι ανοικτού κώδικα**, πράγμα που σημαίνει ότι είναι δωρεάν για χρήση και διανομή, ακόμη και για εμπορικούς σκοπούς.
- III. Έχει εξαιρετικά μεγάλη και αυξανόμενη γκάμα δομοστοιχείων και βιβλιοθηκών** - πακέτα κώδικα που έχουν δημιουργήσει τρίτοι χρήστες για να επεκτείνουν τις δυνατότητες της Python.
- IV. Έχει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα** που συνεισφέρει τόσο στην γκάμα δομοστοιχείων και βιβλιοθηκών της Python όσο και ως χρήσιμος πόρος για άλλους προγραμματιστές. Μια τέτοια κοινότητα υποστήριξης σημαίνει ότι εάν οι προγραμματιστές συναντήσουν ένα εμπόδιο, η εύρεση λύσης είναι σχετικά εύκολη: Κάποιος είναι βέβαιο ότι θα έχει αντιμετωπίσει το ίδιο πρόβλημα στο παρελθόν.

6.2.2. Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι ένα σύστημα υπολογιστή για τη σύλληψη, αποθήκευση, έλεγχο και εμφάνιση δεδομένων που σχετίζονται με θέσεις στην επιφάνεια της Γης.

Το GIS μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε πληροφορία περιλαμβάνει την τοποθεσία. Η τοποθεσία μπορεί να εκφραστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, όπως γεωγραφικό πλάτος και μήκος, διεύθυνση, ταχυδρομικό κώδικα.

6.2.2.1. Επιλογή Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών

Για τους σκοπούς της χαρτογράφησης χρησιμοποιούμε την ανοιχτή πλατφόρμα <https://www.openstreetmap.org/>. Το OpenStreetMap (OSM) είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα χαρτογράφησης που χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορους σκοπούς. Πρόκειται για ένα συνεργατικό project ανοιχτού κώδικα που προσφέρει δωρεάν πληροφορίες χαρτογράφησης, το οποίο έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αξιόπιστο με την πάροδο του χρόνου.

Αν και το OSM μπορεί να μην είναι η πρώτη επιλογή για καθημερινή πλοήγηση, η τεράστια βάση γεωχωρικών δεδομένων του έχει αποδειχθεί ανεκτίμητη σε πολλούς τομείς. Πέρα από τις συνήθεις εφαρμογές χαρτογράφησης, το OSM έχει παίξει καθοριστικό ρόλο σε ανθρωπιστικές προσπάθειες και επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών, οι εθελοντές του OSM συχνά δημιουργούν ή ενημερώνουν γρήγορα χάρτες που βοηθούν τις ομάδες διάσωσης και ανακούφισης.

Το φιλοσοφικό υπόβαθρο του OSM είναι εξίσου σημαντικό με τις πρακτικές του εφαρμογές. Η ιδέα μιας ελεύθερης και ανοιχτής πηγής γεωγραφικών πληροφοριών αποτελεί τον πυρήνα του project. Ο έλεγχος του τι εμφανίζεται στους χάρτες είναι μια μορφή εξουσίας, και το OSM προσπαθεί να δημοκρατικοποιήσει αυτή τη διαδικασία. Αντί να αφήνει τον έλεγχο αποκλειστικά στα χέρια μεγάλων εταιρειών το OSM δημιουργεί μια ισορροπία μέσω της ανοιχτής κοινότητάς του.

Το OSM προσφέρει μοναδικές δυνατότητες που οι ιδιωτικές υπηρεσίες χαρτών συχνά δεν μπορούν να παρέχουν ως cloud services. Για παράδειγμα:

- I. Παρέχει δωρεάν και απεριόριστη πρόσβαση σε ολόκληρο το σύνολο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του πλήρους ιστορικού αλλαγών.
- II. Δεν θέτει περιορισμούς σχετικά με το ποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα ή πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- III. Επιτρέπει τη λήψη και χρήση των δεδομένων χαρτογράφησης χωρίς σύνδεση στο διαδίκτυο, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με περιορισμένη συνδεσιμότητα.

Το OSM διατηρεί έναν δωρεάν, συνεχώς ενημερωμένο παγκόσμιο χάρτη γνωστό ως "planet.osm". Αυτός ο χάρτης, διαθέσιμος για λήψη, περιλαμβάνει πληροφορίες για δρόμους, γεωγραφικά χαρακτηριστικά, ορόσημα και άλλα σημεία ενδιαφέροντος. Οι χρήστες έχουν την ευελιξία να εξάγουν οποιοδήποτε τμήμα του χάρτη επιθυμούν σε ξεχωριστά αρχεία OSM.

Τα αρχεία OSM χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη δομή δεδομένων. Βασίζονται σε XML και περιέχουν τέσσερα βασικά στοιχεία:

- I. Nodes (Κόμβοι): Οι γεωγραφικές θέσεις που αποθηκεύονται ως ζεύγη γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους. Αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά του χάρτη χωρίς μέγεθος, όπως βουνοκορφές.

- II. Ways (Διαδρομές): Ταξινομημένες λίστες «κόμβων», που υποδηλώνουν μια πολυγραμμή (polyline) ή ένα πολύγωνο. Αντιπροσωπεύουν γραμμικά χαρακτηριστικά όπως δρόμους και ζώνες όπως πάρκα.
- III. Relations (Σχέσεις): Ορίζουν λογικές ή γεωγραφικές σχέσεις μεταξύ στοιχείων. Αντιπροσωπεύουν τη «σχέση» τους, όπως εμπόδια στον δρόμο ή απαγόρευση στροφής.
- IV. Tags (Ετικέτες): Παρέχουν περιγραφικές πληροφορίες για τα άλλα στοιχεία.

Αυτή η δομή επιτρέπει την αποτελεσματική αναπαράσταση πολύπλοκων γεωγραφικών δεδομένων, από απλούς δρόμους μέχρι περίπλοκα κτίρια και φυσικά χαρακτηριστικά.

Συνοψίζοντας, το OpenStreetMap δεν είναι απλώς ένας χάρτης· είναι ένα κίνημα για ελεύθερη και ανοιχτή γεωγραφική πληροφορία. Προσφέρει μια εναλλακτική ελεύθερη και δωρεάν λύση στις εμπορικές υπηρεσίες χαρτογράφησης, δίνοντας στους χρήστες τη δύναμη να συμμετέχουν ενεργά στη δημιουργία και διαμόρφωση των χαρτών που χρησιμοποιούν καθημερινά.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<osm version="0.6" generator="CGImap 0.0.2">
  <bounds minlat="54.0889580" minlon="12.2487570" maxlat="54.0913900"
maxlon="12.2524800"/>
  <node id="298884269" lat="54.0901746" lon="12.2482632" user="SvenHRO" uid="46882"
visible="true" version="1" changeset="676636" timestamp="2008-09-21T21:37:45Z"/>
  <node id="261728686" lat="54.0906309" lon="12.2441924" user="PikoWinter" uid="36744"
visible="true" version="1" changeset="323878" timestamp="2008-05-03T13:39:23Z"/>
  <node id="1831881213" version="1" changeset="12370172" lat="54.0900666"
lon="12.2539381" user="lafkor" uid="75625" visible="true" timestamp="2012-07-
20T09:43:19Z">
    <tag k="name" v="Neu Broderstorf"/>
    <tag k="traffic_sign" v="city_limit"/>
  </node>
  ...
  <node id="298884272" lat="54.0901447" lon="12.2516513" user="SvenHRO" uid="46882"
visible="true" version="1" changeset="676636" timestamp="2008-09-21T21:37:45Z"/>
  <way id="26659127" user="Masch" uid="55988" visible="true" version="5"
changeset="4142606" timestamp="2010-03-16T11:47:08Z">
    <nd ref="292403538"/>
    <nd ref="298884289"/>
    ...
    <nd ref="261728686"/>
    <tag k="highway" v="unclassified"/>
    <tag k="name" v="Pastower Straße"/>
  </way>
  <relation id="56688" user="kmvar" uid="56190" visible="true" version="28"
changeset="6947637" timestamp="2011-01-12T14:23:49Z">
    <member type="node" ref="294942404" role=""/>
    ...
    <member type="node" ref="364933006" role=""/>
    <member type="way" ref="4579143" role=""/>
    ...
    <member type="node" ref="249673494" role=""/>
    <tag k="name" v="Küstenbus Linie 123"/>
    <tag k="network" v="VWV"/>
    <tag k="operator" v="Regionalverkehr Küste"/>
    <tag k="ref" v="123"/>
    <tag k="route" v="bus"/>
    <tag k="type" v="route"/>
  </relation>
</osm>
```

Εικόνα 24 Ένα συντομευμένο παράδειγμα ενός πλήρους αρχείου OSM XML. [31]

6.2.3. Μέθοδος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων

Η Μέθοδος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO) είναι μια στοχαστική και μεθευρετική τεχνική βελτιστοποίησης που αναζητά επαναληπτικά τη γενική βέλτιστη λύση και εμπνέεται από την κοινωνική συμπεριφορά των σμηνών πουλιών ή των κοπαδιών ψαριών. Εισήχθη το 1995 από τους James Kennedy και Russell Eberhart. [32]

Πιο συγκεκριμένα, η PSO βασίζεται σε δύο αρχές της συμπεριφοράς των σμηνών:

- I. Αυτοοργάνωση:** Τα πουλιά ή τα ψάρια σε ένα σμήνος δεν έχουν έναν κεντρικό ηγέτη. Αντίθετα, αυτοοργανώνονται και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση τις απλές αλληλεπιδράσεις τους με τα γειτονικά μέλη του σμήνους.
- II. Συμπεριφορά αναζήτησης τροφής:** Κατά την αναζήτηση τροφής, κάθε πουλί ή ψάρι επηρεάζεται από την καλύτερη θέση που έχει βρει ο ίδιος (προσωπικό βέλτιστο) και από την καλύτερη θέση που έχουν βρει τα άλλα μέλη του σμήνους (γενικό βέλτιστο). Έτσι, η συλλογική νοημοσύνη του σμήνους οδηγεί σε πιο αποτελεσματική αναζήτηση.

Στον αλγόριθμο PSO, κάθε σωματίδιο (κάθε πιθανή λύση) αναπαριστά ένα υποθετικό μέλος του σμήνους. Τα σωματίδια κινούνται στον χώρο αναζήτησης ακολουθώντας απλούς κανόνες που μιμούνται τις δύο αυτές αρχές συμπεριφοράς των σμηνών:

- I. Κάθε σωματίδιο τείνει να κινηθεί προς την καλύτερη θέση που έχει βρει ο ίδιος (προσωπικό βέλτιστο).
- II. Κάθε σωματίδιο τείνει επίσης να κινηθεί προς την καλύτερη θέση που έχει βρεθεί από οποιοδήποτε άλλο σωματίδιο στο σμήνος (γενικό βέλτιστο). [33]

Τα βασικά στοιχεία του αλγορίθμου PSO είναι:

- I. Θέση σωματιδίου:** Η τρέχουσα λύση που αναπαρίσταται από το σωματίδιο.
- II. Ταχύτητα σωματιδίου:** Ο ρυθμός αλλαγής της θέσης του σωματιδίου, επηρεαζόμενος από τις προσωπικές και γενικές βέλτιστες θέσεις.
- III. Προσωπικό βέλτιστο:** Η καλύτερη θέση (λύση) που έχει βρεθεί από το σωματίδιο μέχρι στιγμής.
- IV. Γενικό βέλτιστο:** Η καλύτερη θέση (λύση) που έχει βρεθεί από οποιοδήποτε σωματίδιο στο σμήνος μέχρι στιγμής. [34]

Αυτή η απλή συμπεριφορά αναζήτησης τροφής σε συνδυασμό με την αυτοοργάνωση των σωματιδίων οδηγεί συνολικά σε αποτελεσματική εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και σύγκλιση προς την περιοχή της βέλτιστης λύσης.

Ο αλγόριθμος PSO λειτουργεί ως εξής:

- I. Αρχικοποίηση** ενός σμήνους σωματιδίων με τυχαίες θέσεις και ταχύτητες στον χώρο αναζήτησης.
- II. Αξιολόγηση** της καταλληλότητας (τιμή αντικειμενικής συνάρτησης) κάθε σωματιδίου.
- III. Ενημέρωση της προσωπικής βέλτιστης θέσης** κάθε σωματιδίου εάν η τρέχουσα θέση έχει καλύτερη τιμή καταλληλότητας.
- IV. Ενημέρωση της γενικής βέλτιστης θέσης** μεταξύ όλων των σωματιδίων.
- V. Προσαρμογή της ταχύτητας** κάθε σωματιδίου με βάση το προσωπικό και γενικό βέλτιστο.
- VI. Μετακίνηση κάθε σωματιδίου** στη νέα του θέση με βάση την ενημερωμένη ταχύτητά του.
- VII. Επανάληψη** των βημάτων 2-6 μέχρι να ικανοποιηθεί ένα κριτήριο τερματισμού (π.χ. μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αποδεκτή λύση).

Ο αλγόριθμος PSO έχει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως απλότητα, ευκολία υλοποίησης, υπολογιστική αποτελεσματικότητα και την ικανότητα να χειρίζεται μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης. Έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως βελτιστοποίηση συναρτήσεων, μηχανολογικό σχεδιασμό, προγραμματισμό, ομαδοποίηση και άλλους.

Ο τύπος για την ταχύτητα που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο, προκύπτει από τις αρχές της φυσικής που σχετίζονται με την κυκλική κίνηση και την τριβή και αναφέρθηκε στο θεωρητικό μέρος (Τύπος νούμερο X).

6.2.3.1. Παράμετροι στην βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων

Στην βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO), οι παράμετροι w , c_p και c_g είναι βασικά στοιχεία της εξίσωσης ενημέρωσης της ταχύτητας κάθε σωματιδίου στο σμήνος. Αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την κίνηση των σωματιδίων στον χώρο αναζήτησης. Ακολουθεί μια λεπτομερής εξήγηση αυτών των παραμέτρων και των μαθηματικών τους συνδέσεων:

- I. Αδράνεια (w):** Το βάρος αδράνειας ελέγχει πόση από την προηγούμενη ταχύτητα διατηρείται. Βοηθά στην εξισορρόπηση της εξερεύνησης και της εκμετάλλευσης στον χώρο αναζήτησης. Μια υψηλότερη τιμή w ενθαρρύνει την εξερεύνηση (αναζήτηση νέων περιοχών), ενώ μια χαμηλότερη τιμή w ενθαρρύνει την εκμετάλλευση (βελτίωση των τρεχουσών λύσεων).
- II. Συντελεστής Γνωστικής Συνιστώσας (c_p):** Η γνωστική συνιστώσα αντιπροσωπεύει την τάση ενός σωματιδίου να κινηθεί προς την καλύτερη

γνωστή του θέση. Επηρεάζεται από τον συντελεστή c_p , που κλιμακώνει τη συμβολή της γνωστικής συνιστώσας.

III. Συντελεστής Κοινωνικής Συνιστώσας (c_g): Η κοινωνική συνιστώσα αντιπροσωπεύει την τάση ενός σωματιδίου να κινηθεί προς την καλύτερη γνωστή θέση του σμήνους. Επηρεάζεται από τον συντελεστή c_g , που κλιμακώνει τη συμβολή της κοινωνικής συνιστώσας.

6.2.3.1.1. Εξίσωση Ενημέρωσης Ταχύτητας

Η ταχύτητα ενός σωματιδίου ενημερώνεται χρησιμοποιώντας την εξής εξίσωση:

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + c_p \cdot r_p \cdot (p_i - x_i(t)) + c_g \cdot r_g \cdot (g - x_i(t))$$

Όπου:

$v_i(t)$: Η τρέχουσα ταχύτητα του σωματιδίου i .

w : Το βάρος αδράνειας.

c_p : Ο συντελεστής της γνωστικής συνιστώσας.

r_p : Ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφα κατανομημένος στο $[0,1]$ (προσθέτοντας στοχαστικότητα στη γνωστική συνιστώσα).

p_i : Η καλύτερη θέση του σωματιδίου i .

$x_i(t)$: Η τρέχουσα θέση του σωματιδίου i .

c_g : Ο συντελεστής της κοινωνικής συνιστώσας.

r_g : Ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφα κατανομημένος στο $[0,1]$ (προσθέτοντας στοχαστικότητα στην κοινωνική συνιστώσα).

g : Η καλύτερη θέση που έχει βρει το σμήνος.

6.2.3.1.2. Δοθείσες Τιμές

$w = 0$: Η αδράνεια μηδενίζεται. Αυτό σημαίνει ότι η προηγούμενη ταχύτητα του σωματιδίου δεν έχει καμία επίδραση στη νέα ταχύτητα. Το σωματίδιο δεν διατηρεί καμία ορμή από την προηγούμενη κίνησή του.

$c_p = 0$: Η γνωστική συνιστώσα μηδενίζεται. Κάθε σωματίδιο δεν λαμβάνει υπόψη την καλύτερη γνωστή του θέση όταν ενημερώνει την ταχύτητά του.

$c_g = 4$: Η κοινωνική συνιστώσα έχει μεγάλο βάρος. Κάθε σωματίδιο επηρεάζεται έντονα από την καλύτερη γνωστή θέση του σμήνους.

6.2.3.1.3. Μαθηματική Σύνδεση με τις Δοθείσες Τιμές

Αντικαθιστώντας τις δοθείσες τιμές στην εξίσωση ενημέρωσης της ταχύτητας, έχουμε:

$$v_i(t+1) = 0 \cdot v_i(t) + 0 \cdot r_p \cdot (p_i - x_i(t)) + 4 \cdot r_g \cdot (g - x_i(t))$$

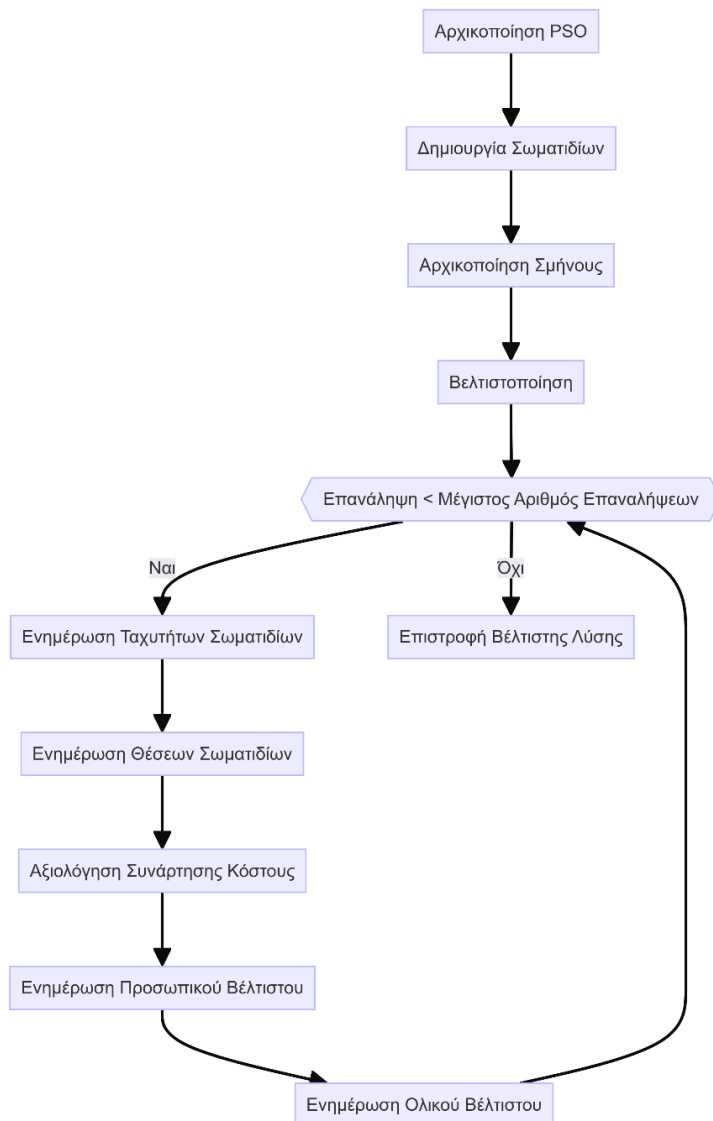
Απλοποιώντας αυτό, καταλήγουμε σε:

$$v_i(t+1) = 4 \cdot r_g \cdot (g - x_i(t))$$

6.2.3.1.4. Ερμηνεία

- I. Η νέα ταχύτητα κάθε σωματιδίου καθορίζεται αποκλειστικά από την καλύτερη γνωστή θέση του σμήνους και την τρέχουσα θέση του σωματιδίου.
- II. Τα σωματίδια κινούνται άμεσα προς την καλύτερη γνωστή θέση του σμήνους, με την ταχύτητα να επηρεάζεται από τον παράγοντα $4 \cdot r_g$, όπου το r_g εισάγει κάποια τυχαιότητα.
- III. Δεν λαμβάνεται υπόψη η προηγούμενη καλύτερη θέση του σωματιδίου ή η προηγούμενη ταχύτητά του.

Αυτή η ρύθμιση υποδηλώνει ότι η διαδικασία βελτιστοποίησης βασίζεται αποκλειστικά στη συλλογική γνώση του σμήνους, ωθώντας όλα τα σωματίδια προς την καλύτερη λύση που έχει βρεθεί μέχρι τώρα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία σύγκλιση προς το παγκόσμιο βέλτιστο αν η θέση g είναι κοντά στο πραγματικό παγκόσμιο βέλτιστο, αλλά αυξάνει επίσης τον κίνδυνο να κολλήσουν σε τοπικά βέλτιστα λόγω έλλειψης εξερεύνησης και ατομικής μάθησης.



Διάγραμμα 5. Διάγραμμα ροής αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων

6.2.4. Σύγκριση του Αλγορίθμου Σμήνους Σωματιδίων (PSO) με Άλλους Αλγόριθμους Βελτιστοποίησης

Εκτός από τον Αλγόριθμο Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO), έχουν αναπτυχθεί πολλοί άλλοι διακεκριμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης που εφαρμόζονται σε συνεχή και μη γραμμικά περιβάλλοντα. Μεταξύ αυτών, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms - GA), η Προσομοιωμένη Ανόπτωση (Simulated Annealing - SA) και η Διαφορική Εξέλιξη (Differential Evolution - DE) ξεχωρίζουν για τις διαφορετικές μεθοδολογίες και τεχνικές που εφαρμόζουν, συμβάλλοντας σημαντικά στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων βελτιστοποίησης.

6.2.4.1. Σε αντιπαραβολή με Γενετικούς Αλγόριθμους (GA)

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι και ο PSO ανήκουν στην κατηγορία των αλγορίθμων που βασίζονται σε πληθυσμό λύσεων. Παρά τις ομοιότητες, υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Στους GA, οι λύσεις εξελίσσονται μέσω διαδικασιών αναπαραγωγής, συνδυασμού και μετάλλαξης, ενώ στον PSO οι λύσεις ενημερώνονται μέσω ταχυτήτων που καθορίζονται από την ατομική και την παγκόσμια βέλτιστη λύση. Ενώ οι GA προσφέρουν καλύτερη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης, ο PSO τείνει να συγκλίνει ταχύτερα λόγω της απλότητας της διαδικασίας ενημέρωσης. [35]

Οι GA, λόγω της στοχαστικής φύσης τους, διατηρούν ποικιλία στον πληθυσμό και έχουν λιγότερες πιθανότητες να κολλήσουν σε τοπικά βέλτιστα σημεία. Ο PSO, από την άλλη, ενδέχεται να συγκλίνει πρόωρα, ιδιαίτερα σε πολύπλοκα τοπία αναζήτησης. Ωστόσο, ο PSO υπερέχει στην απλότητα, απαιτώντας λιγότερες παραμέτρους και όντας πιο εύκολος στη ρύθμιση σε σύγκριση με τους GA.

6.2.4.2. Σε αντιπαραβολή με Προσομοιωμένη Ανόπτωση (SA)

Η Προσομοιωμένη Ανόπτωση (SA) είναι ένας αλγόριθμος που βασίζεται στην εξερεύνηση μίας μόνο λύσης κάθε φορά, η οποία μπορεί να δεχθεί ακόμη και χειρότερες λύσεις σε πρώιμα στάδια, με στόχο την αποφυγή τοπικών βέλτιστων. Σε αντίθεση, ο PSO εξερευνά πολλαπλές λύσεις ταυτόχρονα μέσω της πληθυσμιακής του προσέγγισης, γεγονός που τον καθιστά ταχύτερο σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας. [36]

Παρά την ταχύτητα του PSO, το SA είναι πιο ανθεκτικό στα τοπικά βέλτιστα λόγω της πιθανοτικής φύσης του. Αυτό καθιστά το SA μια ισχυρή επιλογή σε πολύπλοκα προβλήματα, όπου το τοπίο αναζήτησης έχει πολλές τοπικές βέλτιστες λύσεις. Από την άλλη πλευρά, ο PSO παρουσιάζει καλύτερη απόδοση σε προβλήματα όπου η ταχύτητα σύγκλισης είναι κρίσιμη.

6.2.4.3. Σε αντιπαραβολή με Διαφορική Εξέλιξη (DE)

Ο αλγόριθμος Διαφορικής Εξέλιξης (DE) βασίζεται στην ενημέρωση των λύσεων μέσω γραμμικών συνδυασμών διαφορών μεταξύ υπάρχουσών λύσεων. Αυτή η διαδικασία

είναι πιο ριζική από την ενημέρωση ταχύτητας του PSO, και συχνά οδηγεί σε ταχύτερη σύγκλιση σε προβλήματα υψηλών διαστάσεων. [37]

Παρόλο που ο PSO τείνει να συγκλίνει γρηγορότερα σε μικρότερα προβλήματα, ο DE είναι πιο ανθεκτικός στην εύρεση του παγκόσμιου βέλτιστου, ιδιαίτερα σε προβλήματα με πολύπλοκα τοπία. Ωστόσο, ο DE απαιτεί περισσότερες αξιολογήσεις της συνάρτησης κόστους, καθιστώντας τον πιο αργό σε εφαρμογές με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς, όπου ο PSO μπορεί να υπερισχύσει λόγω της ταχύτητάς του.

6.2.4.4. Εκτίμηση Σύγκρισης Αλγορίθμου Σμήνους Σωματιδίων

Συνολικά, ο PSO προσφέρει μια ταχεία μέθοδο βελτιστοποίησης με λιγότερες απαιτήσεις παραμέτρων και εύκολη ρύθμιση. Ωστόσο, σε προβλήματα που απαιτούν μεγάλη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης ή είναι επιρρεπή σε τοπικά βέλτιστα, αλγόριθμοι όπως οι GA, SA ή DE μπορεί να προσφέρουν καλύτερη απόδοση. Η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του προβλήματος, όπως η ανάγκη για γρήγορη σύγκλιση ή η ανάγκη για πλήρη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης.

6.2.5. Σύγκριση Μεθόδων Παρεμβολής: Κυβική B-spline και Γραμμική

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζονται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις παρεμβολής για τη δημιουργία συνεχών διαδρομών από διακριτά σημεία: η γραμμική παρεμβολή και η κυβική παρεμβολή B-spline. Η κατανόηση των χαρακτηριστικών και των διαφορών μεταξύ αυτών των μεθόδων είναι κρίσιμη για την επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής σε εφαρμογές χαρτογράφησης και σχεδιασμού διαδρομών.

Η γραμμική παρεμβολή προσφέρει μια απλή και άμεση προσέγγιση στην παρεμβολή δεδομένων. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί συνδέοντας διαδοχικά σημεία με ευθείες γραμμές. Χαρακτηρίζεται από την απλότητα των μαθηματικών υπολογισμών της, καθιστώντας την ιδιαίτερα αποδοτική από υπολογιστική άποψη. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της γραμμικής παρεμβολής είναι ότι εγγυάται την ακριβή διέλευση από όλα τα αρχικά σημεία δεδομένων, μια ιδιότητα που μπορεί να είναι κρίσιμη σε ορισμένες εφαρμογές όπου η ακρίβεια των σημείων είναι πρωταρχικής σημασίας.

Ωστόσο, η γραμμική παρεμβολή έχει ορισμένους περιορισμούς. Παράγει διαδρομές με περιορισμένη ομαλότητα, δημιουργώντας αιχμηρές γωνίες στα σημεία αλλαγής κατεύθυνσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικές ή μη φυσικές αναπαραστάσεις, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ομαλή μετάβαση μεταξύ των σημείων. Επιπλέον, η γραμμική παρεμβολή παρουσιάζει ασυνέχειες στην πρώτη παράγωγο, γεγονός που μπορεί να είναι προβληματικό σε εφαρμογές που απαιτούν ομαλή μεταβολή της ταχύτητας ή της επιτάχυνσης.

Αντίθετα, η κυβική παρεμβολή B-spline, όπως εφαρμόζεται στο script `interpolation_cubic_bspline.py`, προσφέρει μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση. Αυτή η

μέθοδος χρησιμοποιεί πολυώνυμα τρίτου βαθμού για τη δημιουργία εξαιρετικά ομαλών και συνεχών καμπυλών. Η κυβική B-spline διακρίνεται για την ικανότητά της να παράγει καμπύλες με C2 συνέχεια, εξασφαλίζοντας ότι τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη παράγωγος παραμένουν συνεχείς σε όλο το μήκος της καμπύλης. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλός βαθμός ομαλότητας, όπως στην αναπαράσταση φυσικών χαρακτηριστικών ή στο σχεδιασμό τροχιών.

Η ευελιξία της κυβικής B-spline παρεμβολής έγκειται στην ικανότητά της να προσαρμόζεται σε πολύπλοκες γεωμετρίες και να χειρίζεται αποτελεσματικά κλειστούς βρόχους, διατηρώντας τη συνέχεια στα σημεία σύνδεσης. Επιπλέον, η τοπική φύση της επιρροής των σημείων ελέγχου επιτρέπει προσαρμογές σε συγκεκριμένα τμήματα της καμπύλης χωρίς να επηρεάζεται το σύνολο της διαδρομής. Ωστόσο, αυτή η υψηλή ποιότητα παρεμβολής συνοδεύεται από αυξημένη μαθηματική και υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Η επιλογή μεταξύ των δύο μεθόδων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Η γραμμική παρεμβολή βρίσκεται εφαρμογή σε καταστάσεις όπου η υπολογιστική αποδοτικότητα και η απλότητα υλοποίησης είναι κρίσιμες. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους ή απαιτήσεις πραγματικού χρόνου, καθώς και σε περιπτώσεις όπου οι διαδρομές χαρακτηρίζονται από έντονες γωνίες, όπως σε «τετραγωνισμένους» δρόμους πόλεων.

Από την άλλη πλευρά, η κυβική B-spline παρεμβολή είναι ιδανική για περιπτώσεις όπου η ομαλότητα της διαδρομής είναι πρωταρχικής σημασίας, όπως σε διαδρομές με καμπύλες (πχ αυτοκινητοδρόμια). Η υψηλή ποιότητα των παραγόμενων καμπυλών και η συνέχεια των παραγώγων την καθιστούν εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή γεωμετρική αναπαράσταση και φυσικότητα στις καμπύλες. [38]

Συγκριτικά, οι δύο μέθοδοι μπορούν να αντιπαραβληθούν ως εξής:

- I. Ομαλότητα:** Η κυβική B-spline υπερτερεί σημαντικά, προσφέροντας C2 συνέχεια (συνέχεια καμπύλης, πρώτης και δεύτερης παραγώγου), ενώ η γραμμική παρεμβολή παρέχει μόνο C0 συνέχεια (συνέχεια καμπύλης).
- II. Υπολογιστική πολυπλοκότητα:** Η γραμμική παρεμβολή είναι απλούστερη και ταχύτερη, ενώ η B-spline απαιτεί πιο σύνθετους υπολογισμούς.
- III. Ακρίβεια στα αρχικά σημεία:** Η γραμμική παρεμβολή διέρχεται ακριβώς από όλα τα σημεία, ενώ η B-spline μπορεί να αποκλίνει ελαφρώς.
- IV. Διαχείριση παραγώγων:** Η B-spline προσφέρει συνεχείς πρώτες και δεύτερες παραγώγους, ενώ η γραμμική έχει ασυνέχειες στην πρώτη παράγωγο.

V. Ευελιξία σε πολύπλοκες γεωμετρίες: Η B-spline είναι πολύ πιο ευέλικτη σε σύνθετα σχήματα, ενώ η γραμμική είναι περιορισμένη σε απλές, ευθύγραμμες αναπαραστάσεις.

VI. Καταλληλότητα για φυσικές καμπύλες: Η B-spline είναι ιδανική για την αναπαράσταση φυσικών χαρακτηριστικών, ενώ η γραμμική είναι καταλληλότερη για τεχνητές, γωνιώδεις δομές.

6.2.6. Αντιμετώπιση πηγών θορύβου GPS και Φίλτρο Kalman

6.2.6.1. Πηγές Θορύβου στα Δεδομένα GPS

Τα δεδομένα GPS που συλλέγονται από δέκτες συχνά περιέχουν θόρυβο και αβεβαιότητες, οι οποίες επηρεάζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μετρήσεων θέσης. [39] [40] Οι κύριες πηγές θορύβου στα δεδομένα GPS περιλαμβάνουν:

I. Ατμοσφαιρικές Διαταραχές

- a. Ιονόσφαιρα: Η ιονόσφαιρα, λόγω της παρουσίας ιονισμένων σωματιδίων, επηρεάζει τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι διακυμάνσεις στην ηλεκτρονική πυκνότητα μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις στη φάση και το εύρος των σημάτων GPS, εισάγοντας σφάλματα στους υπολογισμούς απόστασης.
- b. Τροπόσφαιρα: Η τροπόσφαιρα επηρεάζει τα σήματα GPS μέσω της διάθλασης που προκαλείται από μεταβολές στη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία. Αυτές οι μεταβολές οδηγούν σε καθυστερήσεις που δεν αντισταθμίζονται εύκολα, αυξάνοντας την αβεβαιότητα των μετρήσεων.

II. Πολλαπλή Διάδοση Σήματος (Multipath Propagation)

Η πολλαπλή διάδοση προκύπτει όταν τα σήματα GPS ανακλώνται σε επιφάνειες όπως κτίρια, έδαφος ή υδάτινες μάζες πριν φτάσουν στον δέκτη. Αυτό οδηγεί σε πολλαπλά αντίγραφα του σήματος που φτάνουν σε διαφορετικούς χρόνους, προκαλώντας παρεμβολές και σφάλματα στη μέτρηση της απόστασης.

III. Σφάλματα Ρολογιού

- a. Δορυφορικά Ρολόγια: Παρά την υψηλή ακρίβεια των ατομικών ρολογιών στους δορυφόρους, μικρές αποκλίσεις μπορούν να εισάγουν σφάλματα στους υπολογισμούς θέσης.
- b. Ρολόγια Δέκτη: Τα ρολόγια των δεκτών GPS είναι λιγότερο ακριβή, και οι αποκλίσεις τους συμβάλλουν στην συνολική αβεβαιότητα.

IV. Γεωμετρική Αραίωση της Ακρίβειας (GDOP)

Η γεωμετρική διαρρύθμιση των δορυφόρων σε σχέση με τον δέκτη επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Μια δυσμενής γεωμετρία μπορεί να αυξήσει

σημαντικά το σφάλμα θέσης, ακόμα και αν τα μεμονωμένα σήματα είναι ισχυρά και χωρίς θόρυβο.

V. **Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές και Περιβαλλοντικός Θόρυβος**

Παρεμβολές από άλλες πηγές ραδιοσυχνοτήτων ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των σημάτων GPS, εισάγοντας πρόσθετο θόρυβο.

Για την αντιμετώπιση των πηγών θορύβου στα δεδομένα του GPS, εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman, ένα βέλτιστο αλγοριθμικό πλαίσιο για την εκτίμηση της κατάστασης ενός δυναμικού συστήματος από θορυβώδεις μετρήσεις. [41]

Το φίλτρο Kalman λειτουργεί με την επαναληπτική διαδικασία πρόβλεψης και ενημέρωσης:

- I. **Πρόβλεψη:** Χρησιμοποιεί το μοντέλο κίνησης του συστήματος για να προβλέψει την επόμενη κατάσταση (θέση και ταχύτητα) και την αβεβαιότητά της.
- II. **Ενημέρωση:** Όταν λαμβάνεται μια νέα μέτρηση, το φίλτρο υπολογίζει το κέρδος Kalman, το οποίο σταθμίζει την αξιοπιστία μεταξύ της προβλεπόμενης κατάστασης και της νέας μέτρησης, λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες τους.

Με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman στα δεδομένα GPS:

- I. **Μειώνεται ο Θόρυβος:** Οι τυχαίες διακυμάνσεις στις μετρήσεις εξομαλύνονται, παρέχοντας μια πιο σταθερή εκτίμηση της θέσης.
- II. **Βελτιώνεται η Ακρίβεια:** Ο συνδυασμός του μοντέλου κίνησης με τις μετρήσεις οδηγεί σε πιο ακριβείς εκτιμήσεις από ό,τι θα παρείχαν οι μετρήσεις μόνες τους.
- III. **Αντιμετωπίζονται οι Αβεβαιότητες:** Το φίλτρο λαμβάνει υπόψη τις στατιστικές ιδιότητες του θορύβου, επιτρέποντας την προσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος και ποιότητας σήματος.

6.2.6.2. **Επιλογή Παραμέτρων Θορύβου**

Η απόδοση του φίλτρου Kalman εξαρτάται από την κατάλληλη επιλογή των μητρώων θορύβου διαδικασίας Q και θορύβου μέτρησης R:

Θόρυβος Διαδικασίας (Q): Αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα στο μοντέλο κίνησης του συστήματος. Μια μικρή τιμή για το Q υποδηλώνει μεγάλη εμπιστοσύνη στο μοντέλο, υποθέτοντας ότι το σύστημα κινείται με προβλέψιμο τρόπο χωρίς σημαντικές απρόβλεπτες μεταβολές. Αντίθετα, μια μεγαλύτερη τιμή επιτρέπει στο φίλτρο να προσαρμόζεται ταχύτερα σε απρόβλεπτες αλλαγές, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε

αυξημένο θόρυβο στην εκτίμηση της κατάστασης. Η τιμή που επιλέχθηκε είναι: $1e-4$

Αυτή η τιμή θεωρείται κατάλληλη, καθώς υποδηλώνει υψηλή εμπιστοσύνη στο μοντέλο κίνησης και είναι ιδανική για εφαρμογές όπου η κίνηση του αντικειμένου είναι ομαλή και προβλέψιμη. Με αυτόν τον τρόπο, το φίλτρο εξομαλύνει αποτελεσματικά τις τυχαίες διακυμάνσεις χωρίς να αντιδρά υπερβολικά σε μικρές ανωμαλίες, μειώνοντας τον κίνδυνο υπερεκτίμησης του θορύβου ως πραγματικής αλλαγής στην κίνηση.

Θόρυβος Μέτρησης (R): Αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα στις μετρήσεις που λαμβάνονται από τον αισθητήρα GPS. Οι τιμές του R μπορούν να εκτιμηθούν μέσω στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων GPS, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές, η πολλαπλή διάδοση και τα σφάλματα ρολογιού. Η τιμή που επιλέχθηκε είναι: $1e-2$

Αυτή η τιμή, η οποία είναι μεγαλύτερη από το Q, αντισταθμίζει την αναγνώριση ότι οι μετρήσεις GPS περιέχουν σημαντικό θόρυβο. Με αυτή την επιλογή, το φίλτρο Kalman δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο μοντέλο κίνησης παρά στις μεμονωμένες μετρήσεις, οδηγώντας σε πιο σταθερές και αξιόπιστες εκτιμήσεις θέσης.

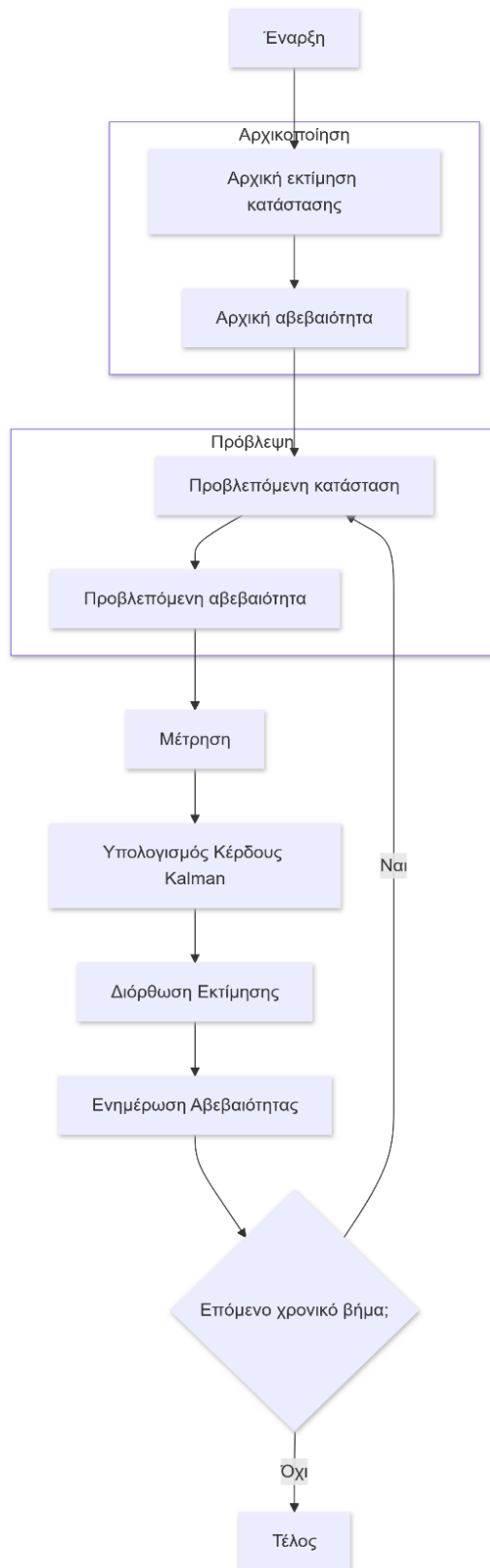
6.2.6.3. Αξιολόγηση Επίδοσης του Φίλτρου Kalman

Η επιλογή των τιμών για τα Q και R εξασφαλίζει μια ισορροπία μεταξύ της εξομαλύνσης του θορύβου και της ικανότητας του φίλτρου Kalman να ανταποκρίνεται στις πραγματικές μεταβολές της κίνησης του αντικειμένου. Η μικρή τιμή για τον θόρυβο διαδικασίας Q επιτρέπει στο φίλτρο να αγνοεί ασήμαντες διακυμάνσεις που προκύπτουν από θορύβους, ενώ η μεγαλύτερη τιμή για τον θόρυβο μέτρησης R μειώνει την επίδραση των ανακριβών δεδομένων, βελτιώνοντας τη συνολική εκτίμηση της θέσης.

Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει ότι το φίλτρο παρακολουθεί αποτελεσματικά την κίνηση, χωρίς να επηρεάζεται από μικρές αποκλίσεις στις μετρήσεις.

Η εφαρμογή του φίλτρου Kalman με τις επιλεγμένες παραμέτρους στην παρούσα μελέτη απέδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα, εξομαλύνοντας τα δεδομένα GPS και αντιμετωπίζοντας επιτυχώς τον θόρυβο στις μετρήσεις. Η αυξημένη ακρίβεια και η σταθερότητα στις εκτιμήσεις καθιστούν αυτή τη μέθοδο ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν αξιοπιστία, όπως η πλοήγηση αυτόνομων συστημάτων και η παρακολούθηση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, η δυνατότητα προσαρμογής των τιμών Q και R ανάλογα με το επίπεδο θορύβου και τη δυναμική του συστήματος καθιστά το φίλτρο εξαιρετικά ευέλικτο, προσφέροντας τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις ειδικές απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

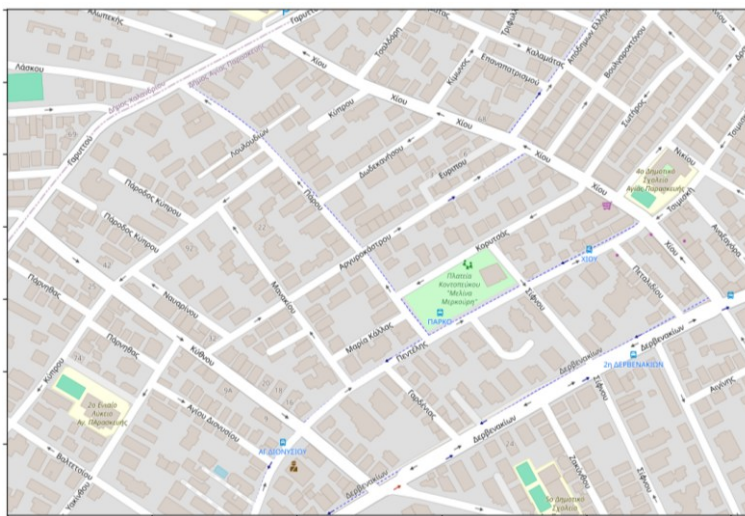


Διάγραμμα 6. Διάγραμμα ροής Φίλτρου Kalman. Δείχνει τη βασική δομή του αλγορίθμου και τα κύρια στάδια της διαδικασίας.

7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

7.1. Προετοιμασία γεωχωρικών δεδομένων

Η διαδικασία βελτιστοποίησης της αγωνιστικής γραμμής ξεκινά με τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων χάρτη. Αρχικά, συλλέγουμε από το OpenStreetMap (openstreetmap.org) τον χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος σε μορφή εικόνας PNG (map.png), καθώς και τα αντίστοιχα γεωχωρικά δεδομένα σε μορφή OSM (map.osm). Αυτά τα αρχεία αποθηκεύονται σε έναν ειδικό φάκελο (`/map_data/`) από όπου θα τα προσπελάσει ο κώδικας αργότερα.



Εικόνα 25. [map.png](#)

7.2. Εκτέλεση κώδικα

7.2.1. Επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων και δημιουργία ορίων πίστας

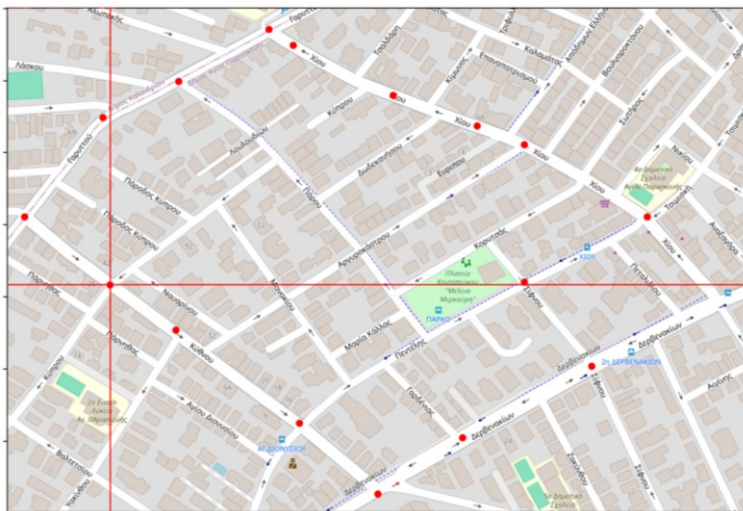
Ένα script (`read_osm.py`) αναλαμβάνει να διαβάσει τα όρια του χάρτη από το αρχείο OSM. Αυτά τα όρια, που περιλαμβάνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές γεωγραφικού πλάτους και μήκους, αποθηκεύονται σε ένα αρχείο JSON (`track_data.json`) για μελλοντική χρήση.

```
license="http://opendatacommons.org/licenses/odbl/1-0/">  
<bounds minlat="38.0161800" minlon="23.8178500" maxlat="38.0207500" maxlon="23.8268700"/>
```

Εικόνα 26. Μέρος αρχείου `map.osm` που αναφέρει τα όρια του χάρτη.

Ακολουθεί μια σειρά υπολογισμών για τη μετατροπή των γεωγραφικών δεδομένων σε μετρικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οπτικοποίηση και τους αλγόριθμους. Υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ των άκρων του χάρτη τόσο σε μέτρα (χρησιμοποιώντας γεωδαιτικούς υπολογισμούς) όσο και σε εικονοστοιχεία (βάσει των διαστάσεων της εικόνας). Επιπλέον, υπολογίζεται το πλάτος της διαδρομής σε εικονοστοιχεία και ένας συντελεστής μετατροπής μεταξύ μέτρων και εικονοστοιχείων. Όλες αυτές οι πληροφορίες προστίθενται στο αρχείο JSON για μελλοντική αναφορά.

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός διαδραστικού περιβάλλοντος όπου ο χρήστης μπορεί να ορίσει τη διαδρομή. Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη `matplotlib`, δημιουργείται ένα γράφημα που απεικονίζει τον χάρτη. Ένας ειδικός χειριστής κλικ (`ClickHandler`) επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει σημεία πάνω στον χάρτη, ορίζοντας έτσι τη διαδρομή. Κάθε κλικ καταγράφεται ως `"waypoints"` στο αρχείο JSON, αποθηκεύοντας τόσο τις γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) όσο και τις αντίστοιχες συντεταγμένες σε εικονοστοιχεία.



Εικόνα 27. Ορισμός σημείων διαδρομής.

```
Clicked on (lat, lon): (38.02381466083085, 23.82009414084854)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (446, 233)
Clicked on (lat, lon): (38.0246875588766, 23.821573527900856)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (575, 405)
Clicked on (lat, lon): (38.025345489493176, 23.822507442632205)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (673, 514)
Clicked on (lat, lon): (38.02481784216701, 23.82351573995278)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (595, 631)
Clicked on (lat, lon): (38.0241468832214, 23.82504471539791)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (496, 810)
Clicked on (lat, lon): (38.02336518347894, 23.82425130111287)
Clicked on (pixel_y, pixel_x): (380, 717)
```

Εικόνα 28. Δείγμα εκτέλεσης του κώδικα για την καταγραφή των σημείων.

Μετά τον ορισμό των σημείων της διαδρομής, ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ γραμμικής και κυβικής παρεμβολής για τη δημιουργία της μέσης γραμμής της διαδρομής. Το επιλεγμένο script παρεμβολής (είτε `interpolation.py` είτε `interpolation_qubic.py`) εκτελείται, δημιουργώντας μια πυκνότερη ακολουθία σημείων που αντιπροσωπεύουν τη μέση γραμμή της διαδρομής. Αυτή η γραμμή σχεδιάζεται πάνω στον χάρτη και ο χρήστης καλείται να ορίσει το πλάτος της διαδρομής.

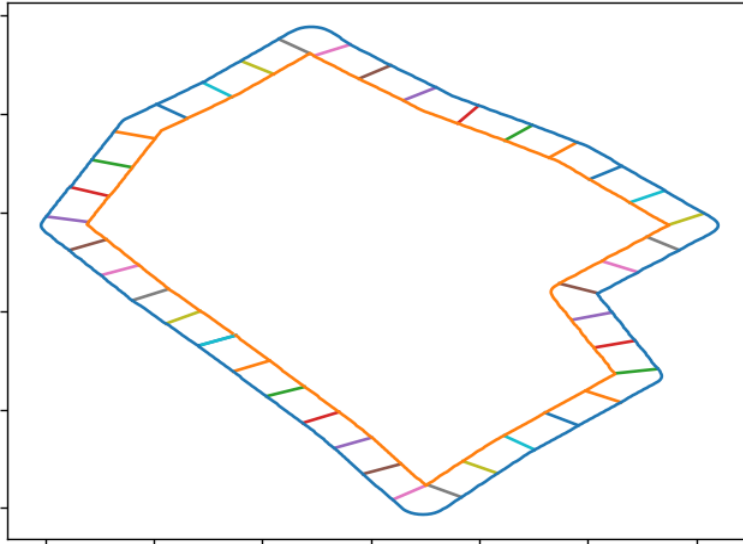


Εικόνα 29. Τα ενωμένα με παρεμβολή σημεία της διαδρομής.

7.2.2. Εκτέλεση αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων

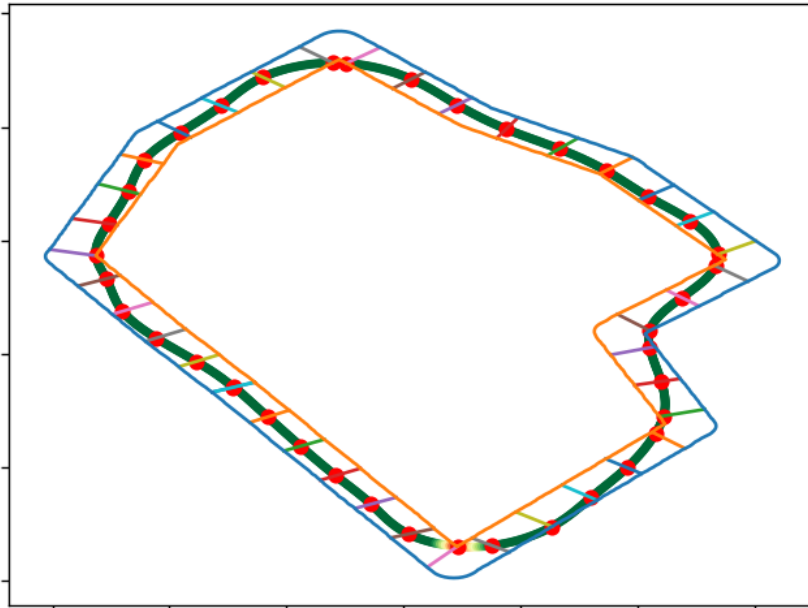
Η κύρια διαδικασία βελτιστοποίησης λαμβάνει χώρα στο script `rline.py`. Εδώ, ορίζονται οι παράμετροι για τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (PSO), συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των σωματιδίων, των επαναλήψεων, και διαφόρων συντελεστών που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του αλγορίθμου. Το script υπολογίζει τα εσωτερικά και εξωτερικά όρια της πίστας και χωρίζει τη διαδρομή σε τμήματα (sectors) για την εφαρμογή του PSO.

N_PARTICLES (Αριθμός Σωματιδίων): 300
N_ITERATIONS (Αριθμός Επαναλήψεων): 500
W (Συντελεστής Αδράνειας): 0
CP (Συντελεστής Γνωστικής Συνιστώσας): 0
CG (Συντελεστής Κοινωνικής Συνιστώσας): 3
 μ (Συντελεστής τριβής): 0,75

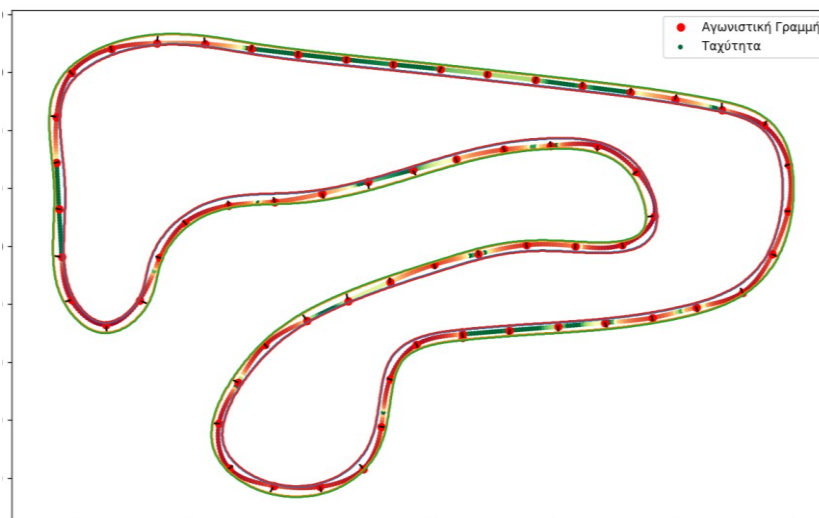


Εικόνα 30. Τα τμήματα της πίστας.

Ο αλγόριθμος PSO εκτελείται επαναληπτικά, με κάθε σωματίδιο να αντιπροσωπεύει μια πιθανή λύση (δηλαδή, μια πιθανή αγωνιστική γραμμή). Σε κάθε επανάληψη, η θέση και η ταχύτητα κάθε σωματιδίου ενημερώνονται, υπολογίζεται ο χρόνος γύρου για τη νέα θέση, και ενημερώνονται οι καλύτερες γνωστές θέσεις (τόσο ατομικά για κάθε σωματίδιο όσο και συνολικά για όλο το σμήνος). Μετά την ολοκλήρωση των επαναλήψεων, ο αλγόριθμος παράγει τα τελικά σημεία της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης αποθηκεύονται στο αρχείο JSON και απεικονίζονται πάνω στον χάρτη της πίστας.



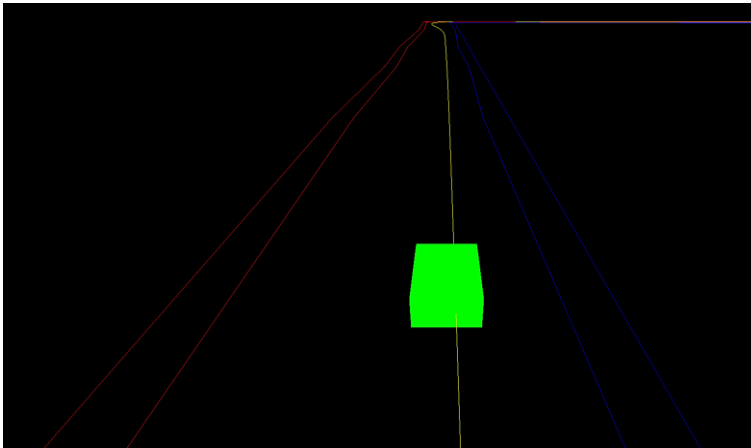
Εικόνα 31. Η αγωνιστική γραμμή.



Εικόνα 32. Η αγωνιστική γραμμή σε πίστα δημιουργημένη με κυβικές b-splines.

7.2.3. Εκτέλεση 3D οπτικοποίησης

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας διαδραστικής οπτικοποίησης. Ένας απλός διακομιστής HTTP ξεκινά και ανοίγει αυτόματα τον προεπιλεγμένο φυλλομετρητή στη διεύθυνση <http://localhost:8000/index.html>. Ένα script JavaScript (game.js) φορτώνει τα δεδομένα της πίστας από το αρχείο JSON και δημιουργεί μια τρισδιάστατη απεικόνιση της πίστας και ενός αυτοκινήτου.



Εικόνα 33. Η αγωνιστική γραμμή.

Ένα script JavaScript δημιουργεί ένα σύστημα προσομοίωσης κίνησης αυτοκινήτου σε πίστα, το οποίο βασίζεται στη χρήση δεδομένων GPS και αποδίδει τα γραφικά του μέσω της βιβλιοθήκης Three.js. Το σύστημα αυτό συνδυάζει τεχνικές τρισδιάστατης απόδοσης και αλγορίθμους επεξεργασίας των δεδομένων GPS για να προσφέρει ένα εργαλείο προσομοίωσης της ήδη υπολογισμένης ιδανικής αγωνιστικής γραμμής αγώνα σε σχέση με την πραγματική θέση του αυτοκινήτου, σε ένα αγωνιστικό σενάριο.

7.2.3.1. Δεδομένα GPS

Η λειτουργία προσομοίωσης δεδομένων GPS είναι κεντρική στο σύστημα. Η συνάρτηση `simulateGPSDataStream` χρησιμοποιεί δεδομένα από εξωτερικά αρχεία JSON που περιέχουν φιλτραρισμένα μέσω Kalman filter δεδομένα γεωγραφικού πλάτους και μήκους. Τα δεδομένα αυτά προσομοιώνονται ώστε να εμφανίζονται με χρονική καθυστέρηση (κάθε 50 ms), προσομοιώνοντας έτσι την πραγματική ροή δεδομένων GPS σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση της θέσης ενός τρισδιάστατου μοντέλου αυτοκινήτου, το οποίο μετακινείται σύμφωνα με τα δεδομένα GPS πάνω στην πίστα.

Κατά τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και με δεδομένα που λαμβάνονται απευθείας από τον δέκτη GPS.

7.2.3.2. Διαχείριση πίστας και γεωμετρική απόδοση

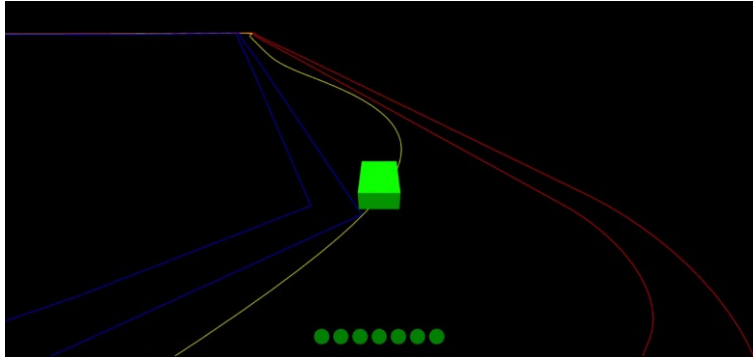
Η κλάση `Track` αναλαμβάνει την απόδοση της πίστας και την γεωμετρική της διαχείριση. Πιο συγκεκριμένα, η πίστα αναπαρίσταται με βάση τα δεδομένα της ιδανικής γραμμής αγώνα, τα όρια της πίστας (εσωτερικά και εξωτερικά), καθώς και τα όρια του δρόμου. Κάθε ένα από αυτά τα σύνολα δεδομένων αποδίδεται ως γραμμές μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον της προσομοίωσης, με τη χρήση της βιβλιοθήκης Three.js. Η κλάση αυτή είναι επίσης υπεύθυνη για τον υπολογισμό της μέγιστης απόστασης ανάμεσα στα όρια της πίστας, στοιχείο που αξιοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης του αυτοκινήτου από την ιδανική γραμμή αγώνα.

7.2.3.3. Διαχείριση κίνησης αυτοκινήτου

Το αυτοκίνητο αποδίδεται στο τρισδιάστατο περιβάλλον μέσω της κλάσης Car. Η κλάση αυτή δημιουργεί το μοντέλο του αυτοκινήτου και το τοποθετεί πάνω στην πίστα σε αρχική θέση που υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα της πίστας. Στη συνέχεια, το αυτοκίνητο κινείται δυναμικά με βάση τα δεδομένα GPS, τα οποία μετατρέπονται από γεωγραφικές συντεταγμένες σε συντεταγμένες pixel για την απόδοση μέσα στο περιβάλλον της πίστας. Παράλληλα, η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την ενημέρωση της κατεύθυνσης του αυτοκινήτου ώστε να συμβαδίζει με το διάλυσμα κίνησης που ορίζεται από τα δεδομένα GPS. Επιπλέον, το χρώμα του αυτοκινήτου αλλάζει δυναμικά ανάλογα με την απόσταση από την ιδανική γραμμή αγώνα, προσφέροντας οπτική ανατροφοδότηση στον χρήστη.

7.2.3.4. Οπτική ανατροφοδότηση μέσω HUD

Η κλάση HUD (Head-Up Display) είναι υπεύθυνη για την οπτική ανατροφοδότηση προς τον χρήστη σχετικά με τη θέση του αυτοκινήτου σε σχέση με την ιδανική γραμμή αγώνα. Το HUD αναπαριστά την απόσταση του αυτοκινήτου από τη γραμμή αγώνα, χρησιμοποιώντας χρώματα και ενδείξεις για να δείξει αν το αυτοκίνητο βρίσκεται αριστερά, δεξιά ή στο κέντρο της γραμμής αγώνα. Οι ενδείξεις αυτές είναι δυναμικές και ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο καθώς το αυτοκίνητο κινείται κατά μήκος της πίστας.



Εικόνα 34. Η αγωνιστική γραμμή με ορατό το HUD (7 πράσινοι κύκλοι).

7.2.3.5. Απόδοση σκηνής και κύριος βρόχος προσομοίωσης

Η κλάση Game συντονίζει τη συνολική ροή του συστήματος. Δημιουργεί την τρισδιάστατη σκηνή της προσομοίωσης, τοποθετεί την πίστα και το αυτοκίνητο μέσα σε αυτήν και προσθέτει φωτισμό για τη σωστή απόδοση των γραφικών. Ένας κύριος βρόχος (animation loop) διασφαλίζει τη συνεχή ενημέρωση της σκηνής, ενημερώνοντας τη θέση του αυτοκινήτου, την κατεύθυνση της κάμερας και τις ενδείξεις του HUD, ενώ παράλληλα αποδίδει τα γραφικά σε πραγματικό χρόνο.

7.3. Δυνατότητες εφαρμογής και χρήση

Το συγκεκριμένο σύστημα προσομοίωσης προσφέρει ευρύ φάσμα δυνατοτήτων εφαρμογής σε διάφορους τομείς, συνδυάζοντας την ακριβή προσομοίωση κίνησης αυτοκινήτου με τη χρήση δεδομένων GPS και την απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Πρωταρχική εφαρμογή του συστήματος αυτού είναι ο εκπαιδευτικός τομέας, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση οδηγών αγώνων. Μέσα από την προσομοίωση, οι οδηγοί έχουν τη δυνατότητα να εξασκηθούν στην ιδανική γραμμή αγώνα σε μια πίστα, να βελτιώσουν την τεχνική τους και να κατανοήσουν πώς η απόκλιση από την ιδανική γραμμή μπορεί να επηρεάσει την απόδοση. Η δυναμική οπτική ανατροφοδότηση, όπως η αλλαγή χρώματος του αυτοκινήτου όταν απομακρύνεται από την ιδανική γραμμή, παρέχει στον οδηγό άμεση πληροφορία για την επίδοσή του.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας εφαρμογής είναι η έρευνα και ανάλυση δεδομένων GPS. Το σύστημα επιτρέπει στους ερευνητές να εξετάσουν την ακρίβεια των δεδομένων που λαμβάνονται από συσκευές GPS και την ικανότητα του συστήματος να τα διαχειριστεί με την κατάλληλη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Οι αλγόριθμοι φιλτραρίσματος, όπως το φίλτρο Kalman που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των δεδομένων GPS, μπορούν να αναλυθούν και να αξιολογηθούν ως προς την αποτελεσματικότητά τους στην προσομοίωση πραγματικών σεναρίων κίνησης. Έτσι, το σύστημα μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας συστημάτων πλοήγησης που βασίζονται σε GPS.

Επιπλέον, το σύστημα προσφέρει τη δυνατότητα προσομοιώσεων σε πραγματικό χρόνο, όπου οι χρήστες μπορούν να μελετήσουν την κίνηση του αυτοκινήτου σε διαφορετικά σενάρια, παρακολουθώντας τόσο την απόκλιση από την ιδανική γραμμή όσο και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων παραμέτρων που μπορεί να ρυθμιστούν, όπως η ποιότητα των δεδομένων GPS ή οι συνθήκες του αγώνα. Αυτή η δυναμική προσομοίωση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για μηχανικούς και ερευνητές που θέλουν να δοκιμάσουν διαφορετικές τεχνικές βελτιστοποίησης ή να αναλύσουν την επιρροή συγκεκριμένων παραγόντων στην απόδοση ενός οδηγού. Η αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την άμεση αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της οπτικής ανατροφοδότησης που παρέχεται στον χρήστη, βοηθώντας στη βελτίωση του συστήματος και της αλληλεπίδρασης χρήστη-προσομοίωσης.

Συνολικά, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη βελτίωση των ικανοτήτων των οδηγών, την ανάλυση δεδομένων GPS και τη μελέτη της κίνησης σε ρεαλιστικά αγωνιστικά περιβάλλοντα. Η ευελιξία του το καθιστά χρήσιμο τόσο σε εκπαιδευτικά πλαίσια όσο και σε ερευνητικά εργαστήρια, ενισχύοντας την κατανόηση της αγωνιστικής δυναμικής και της πλοήγησης με βάση πραγματικά δεδομένα.

8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

8.1. Αξιολόγηση της Λειτουργίας του Συστήματος

Η αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω δοκιμών τόσο σε προσομοιωμένο περιβάλλον στον υπολογιστή όσο και σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης σε κλειστούς δρόμους ή σε ανοικτούς δρόμους με τήρηση του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ). Το σύστημα αξιολογήθηκε με βάση την ακρίβεια εντοπισμού της αγωνιστικής γραμμής, τη διαχείριση δεδομένων από το GNSS και τη σταθερότητα της επικοινωνίας μεταξύ των υποσυστημάτων.

Παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια και πιστότητα των δεδομένων από τον χαμηλού κόστους δέκτη GNSS ήταν κατώτερες από τις αναμενόμενες θεωρητικές, γεγονός που οδήγησε σε περιορισμένη ποιότητα των συλλεγόμενων πληροφοριών. Ωστόσο, η εφαρμογή του φίλτρου Kalman αποδείχθηκε καθοριστική στη βελτίωση της αξιοπιστίας, μειώνοντας το σφάλμα και βελτιώνοντας την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, αναλύθηκε η απόδοση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) κατά τον υπολογισμό της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής. Διαπιστώθηκε ότι το σύστημα παρουσίασε σαφή βελτίωση στις καμπύλες διαδρομές που προσομοιώνονται σε αγωνιστικές πίστες. Η χρήση των B-splines υπερέιχε σημαντικά έναντι της γραμμικής παρεμβολής, η οποία είναι επαρκής για ευθείες διαδρομές όπως αυτές των αστικών οδών.

8.2. Συμπεράσματα

Η μελέτη ανέδειξε τη δυνατότητα του συστήματος να προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα στον υπολογισμό της αγωνιστικής γραμμής, παρά τους περιορισμούς του χαμηλού κόστους δέκτη GNSS. Η ενσωμάτωση του φίλτρου Kalman βελτίωσε σημαντικά την ακρίβεια, αντισταθμίζοντας τα σφάλματα που προέκυψαν από την αβεβαιότητα των δεδομένων GNSS. Αυτό επιβεβαιώνει τη σημασία της χρήσης τεχνικών φιλτραρίσματος για την ενίσχυση της ποιότητας των δεδομένων σε εφαρμογές πλοήγησης. Η χρήση ενός δέκτη GPS υψηλότερης ποιότητας θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την απόδοση του συστήματος.

Επιπλέον, ο αλγόριθμος PSO παρουσίασε καλή απόδοση όταν συνδυάστηκε με τη γραμμική παρεμβολή σε ευθείες διαδρομές, όπως αυτές των αστικών οδών. Σε πιο σύνθετες καμπύλες διαδρομές, ο συνδυασμός του PSO με τις B-splines απέδωσε εξαιρετικά, επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητά του για χρήση σε αγωνιστικά περιβάλλοντα. Ο συνδυασμός του αλγορίθμου PSO τόσο με την γραμμική παρεμβολή όσο και με τις B-splines προσέφερε μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια στον προσδιορισμό της ιδανικής πορείας, καθιστώντας το σύστημα πιο αποδοτικό σε δυναμικές συνθήκες.

Το σύστημα υποβοήθησης για την εκμάθηση της βέλτιστης αγωνιστικής γραμμής, όπως σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί πολύτιμο πόρο για νέους οδηγούς που επιθυμούν να βελτιώσουν τις ικανότητές τους και να δοκιμάσουν τις δεξιότητές τους σε διάφορα αγωνιστικά σιρκοκί, με εξαιρετικά χαμηλό κόστος αλλά υψηλού επιπέδου ακρίβεια.

8.3. Μελλοντικές Προεκτάσεις

Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επεκταθεί στην ενσωμάτωση της τρίτης διάστασης στην ανάλυση της αγωνιστικής γραμμής. Η προσθήκη της τρίτης διάστασης θα επιτρέψει την καλύτερη μοντελοποίηση των ανωμαλιών του εδάφους και των υψομετρικών διαφορών της πίστας, προσφέροντας μια πληρέστερη ανάλυση της ιδανικής αγωνιστικής στρατηγικής σε πραγματικά αγωνιστικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, η μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να λαμβάνει υπόψη τις δυναμικές αλλαγές στο βάρος του οχήματος κατά τη διάρκεια του αγώνα λόγω κατανάλωσης καυσίμου, καθώς και τη φθορά των ελαστικών, που επηρεάζουν άμεσα την πρόσφυση και τη συνολική απόδοση του οχήματος. Οι ειδικές παράμετροι του οχήματος, όπως η αεροδυναμική απόδοση και η κατανομή βάρους, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της πίστας (π.χ. τύπος οδοστρώματος, κλίσεις), πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη.

Ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να ενσωματωθεί είναι οι καιρικές συνθήκες, καθώς η βροχή, η θερμοκρασία και ο άνεμος μπορούν να αλλάξουν δραστικά τη συμπεριφορά του οχήματος και την ιδανική αγωνιστική γραμμή. Η διαφοροποίηση της αγωνιστικής στρατηγικής ανάλογα με την κατάσταση της πίστας (βρεγμένη, στεγνή) και τις καιρικές συνθήκες θα ενισχύσει την ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες.

Προτείνεται η εξέταση της ενσωμάτωσης ενός δέκτη GPS υψηλότερης ποιότητας σε μελλοντικές εφαρμογές, καθώς αυτό θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, η διερεύνηση της χρήσης άλλων προηγμένων αλγορίθμων βελτιστοποίησης ή τεχνικών μηχανικής μάθησης θα μπορούσε να προσφέρει περαιτέρω βελτιώσεις.

Επιπροσθέτως, η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, σε συνδυασμό με τις παραπάνω παραμέτρους, θα μπορούσε να βελτιώσει την προσαρμοστικότητα του συστήματος στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του αγώνα. Η συγκριτική ανάλυση με άλλες τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα νευρωνικά δίκτυα, μπορεί να συμβάλλει στην κατανόηση των ορίων και των δυνατοτήτων του αλγορίθμου PSO σε σύνθετα και δυναμικά αγωνιστικά περιβάλλοντα.

Τέλος, η εφαρμογή του συστήματος σε διαφορετικά είδη αγώνων, όπως οι αγώνες ράλι, θα επιτρέψει τη δοκιμή της προσαρμοστικότητας και της αποτελεσματικότητάς του σε συνθήκες που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες υψομετρικές και επιφανειακές διαφοροποιήσεις, καθώς και μεταβολές στις καιρικές συνθήκες.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. N. Georgano, *The Encyclopedia of Motor Sport*, New York: The Viking Press. Inc., 1971.
- [2] « Mille Miglia - www.1000miglia.it,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://1000miglia.it/storia-della-1000-miglia/brescia-citta-della-1000-miglia/>. [Πρόσβαση 07 11 2022].
- [3] DMSB - Deutscher Motor Sport Bund e.V., *Handbuch Automobilsport 2022*, Frankfurt: DMSB, 2022.
- [4] ph-stop, «[Flickr.com](https://www.flickr.com/photos/ph-stop/2563042439),» 08 06 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.flickr.com/photos/ph-stop/2563042439>. [Πρόσβαση 02 03 2023].
- [5] R. Williams, *The Death of Ayrton Senna*, ISBN: 9780141963914, Penguin UK, 2010.
- [6] Steve Glenney & Bernie Webb, «Smoothline Stage Note,» *Smoothline*, Australia, 2017.
- [7] D. Nafria, *To see the invisible. The power of good pacenotes. Volume 1: Turn intensity and length of corner: The power of good pacenotes.*, τόμ. 1, Barcelona, Catalonia: Independently published, 2019.
- [8] A. W. L. H. Alexander Heilmeier, «Minimum curvature trajectory planning and control for an autonomous race car.,» *Vehicle System Dynamics*, pp. 1-31, 2019.
- [9] Y. Xiong, «*Racing Line Optimization*,» Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2009.
- [10] «Bleacherreport - Secrets of How F1 Drivers Prepare for Brand New Tracks Like Austrian Grand Prix,» 17 06 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bleacherreport.com/articles/2099152-secrets-of-how-f1-drivers-prepare-for-brand-new-tracks-like-austrian-grand-prix>. [Πρόσβαση 15 05 2022].
- [11] Nitin R. Kapania and Christian J. Gerdes, «Path tracking of highly dynamic autonomous vehicle trajectories via iterative learning control.,» σε *Proceedings of the 2015 American Control Conference*, pages 2753–2758, 2015.
- [12] Thomas Weiskircher and Beshah Ayalew, «Predictive trajectory guidance for (semi-) autonomous vehicles in public traffic,» σε *Proceedings of the 2015 American Control Conference (ACC)*, pages 3328–3333, 2015.
- [13] Alexander Heilmeier, Alexander Wischnewski, Leonhard Hermansdorfer, Johannes Betz, Markus Lienkamp, and Boris Lohmann, «Minimum curvature trajectory planning and control for an autonomous race car,» σε *Vehicle System Dynamics*, Taylor & Francis, 2019, pp. 1-13.
- [14] B. Beckman, *The Physics of Racing, Part 5: Introduction to the Racing Line*, 1991.
- [15] A. Brouillard, *The Perfect Corner*, Paradigm Shift Motorsport Books, 2016.
- [16] N. Tennis, «DirtFish,» 10 11 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dirtfish.com/learn/how-to-do-a-handbrake-turn/>. [Πρόσβαση 01 10 2022].
- [17] W. F. Milliken και D. L. Milliken, *Race Car Vehicle Dynamics*, ISBN: 978-1560915263, SAE International, 1995.
- [18] *Tune to Win: The art and science of race car development and tuning*, ISBN: 978-0879380717, Fallbrook CA USA: Aero Publishers, Inc., 1978.
- [19] R. Bentley, *Ultimate Speed Secrets*, Minneapolis MN USA: Motorbooks, 2011.

- [20] L. B. Fricke, «Exhibit 15,» σε *Traffic accident reconstruction, Volume 2 of The traffic accident investigation manual*, Evanston IL, USA, Northwestern University Traffic Institute, 1990, pp. 62-14.
- [21] S. Southward & H. Conner, «Avoiding the Pitfalls in Motorsports Data Acquisition,» σε *SAE Technical Paper 2008-01-2987*, Warrendale, PA, USA, SAE International, 2008.
- [22] «BAE Systems Inc. - www.baesystems.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-are-single-board-computers>. [Πρόσβαση 07 10 2022].
- [23] A. Pajankar, *Raspberry Pi Computer Vision Programming*, Birmingham, UK: Packt Publishing, 2015.
- [24] «NASA - www.nasa.gov,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/what_is_gps/. [Πρόσβαση 09 08 2022].
- [25] «ESA - www.esa.int,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.esa.int/Applications/Navigation/How_satellite_navigation_works. [Πρόσβαση 10 09 2022].
- [26] «SpaceWatch Global - spacewatch.global,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://spacewatch.global/2019/01/japan-prepares-for-gps-failure-with-quasi-zenith-satellites/>. [Πρόσβαση 07 09 2022].
- [27] «ISRO - www.isro.gov.in,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.isro.gov.in/sites/default/files/satnav_policy-29.pdf. [Πρόσβαση 07 11 2022].
- [28] «FAA - www.faa.gov,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/te_chops/navservices/gnss/gps/howitworks. [Πρόσβαση 15 07 2022].
- [29] S. O'Grady, «The RedMonk Programming Language Rankings: June 2021,» RedMonk, 05 08 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://redmonk.com/sogradey/2021/08/05/language-rankings-6-21/>. [Πρόσβαση 26 08 2022].
- [30] Community, «The Python Wiki,» 16 09 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://wiki.python.org/moin/>. [Πρόσβαση 25 10 2022].
- [31] «OpenStreetMap Wiki,» 14 04 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSM_XML. [Πρόσβαση 20 06 2024].
- [32] J. Kennedy & R. Eberhart, «Particle swarm optimization. In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks.,» σε *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, IEEE Conference Publication, 1995, pp. 1942-1948.
- [33] M. Clerc, *Particle Swarm Optimization*, ISTE Ltd., 2006.
- [34] Engelbrecht A. P., *Computational Intelligence: An Introduction*, John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [35] K. Deb, *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, John Wiley & Sons, 2001.
- [36] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P., «Optimization by Simulated Annealing,» *Science*, 220(4598), p. 671–680, 1983.
- [37] Storn, R., & Price, K., «Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces,» *Journal of Global Optimization*, 11(4), p. 341–359, 1997.

- [38] Wang, Xiaolong & Wang, Yi & Cao, Zhizhu & Zou, Weizhong & Wang, Liping & Yu, Guojun... [et al.], «Comparison Study on Linear Interpolation and Cubic B-Spline Interpolation Using Proper Orthogonal Decomposition Methods,» *Advances in Mechanical Engineering*, pp. 1-10, 2013.
- [39] Misra, P., & Enge, P. , Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance., Ganga-Jamuna Press, 2006.
- [40] Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (Eds.), Understanding GPS: Principles and Applications., Artech House, 2005.
- [41] Kalman, R. E., «A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems.,» *Journal of Basic Engineering*, τόμ. 82, αρ. 1, pp. 35-45, 1960.