

Problem Set IV Solution

Tobias Bodentien Philipp Grunenberg Alexander Haas Osama Warshagha

13-01-2026

#Task 1

In this task we design an reduced experimental design to study the impact of different car setup parameters and strategy-related factors. As seen in the last problem set we have several variables. Some of those variables are predetermined and track specific. Since they do not vary within the practice or the race and are fixed we cannot include them in the experimental design. The setup variables can be influenced by the racing team. Those are “Rear Wing”, “Front Wing”, “Engine”, “Brake Balance”, “Differential” and “Suspension”. In this problem set we additionally have strategy relevant variables. We can now choose how many pitstops we do and when we do them, tyres and fuel load. Since we do not have any previous data on the strategy relevant variables it is important to learn about the influences of those on the lap time and overall race time. It is of significant importance to find out how durable the tyres are and how they influence the lap time. The same applies to fuel load. It is also important to do some pit stops to estimate how much time is lost per pit stop. Since the pit stops are determined by tyre changes we do not explicitly include them as a factor in the experimental design as we learn about them indirectly. The fuel load will decrease during the practice. Therefore we do not include it explicitly as a factor in the experimental design and just fuel up the car to the maximum after every tyre change.

The LASSO results of the previous problem set indicate that lap time is strongly influenced by several car setup parameters and their interactions with track and environmental conditions. Every retained variable involves at least one controllable car feature. In particular, brake balance, differential, engine, and front and rear wing settings appear repeatedly with sizable coefficients, suggesting that drivetrain and aerodynamic configuration are key performance drivers. Therefore, we choose all setup variables as strong drivers of performance.

From the previous problem set we know that the relationship between car setup variables and lap times is non-linear. While a two-level design can only identify general trends, the inclusion of a medium value allows the model to capture curvature and diminishing returns, which are critical for identifying the “sweet spot” in a complex mechanical system. However, a three-level design may oversimplify the complex physical interactions of racecar dynamics. A response surface with only three points assumes a symmetric curvature, which risks missing the true optimum if the performance curve is skewed or asymptotic. By extending the design to five levels, we gain the resolution necessary to capture higher-order non-linearities and subtle changes in vehicle behavior. This finer granularity is critical for distinguishing between a broad performance plateau and a narrow, sensitive peak, ensuring that the final optimal setting is precise rather than just an approximation between two extremes.

Regarding the tyres we expect that a softer compound results in faster lap times but higher degradation. For the qualifying the super-soft tyre therefore makes sense. It is still important to use the other three tyres to learn when it makes sense to use a softer tyre with an additional pit stop as opposed to a harder tyre. The resulting factors that we believe influence the lap time are:

- Rear Wing: 10 / 130 / 250 / 370 / 500
- Front Wing: 10 / 130 / 250 / 370 / 500
- Engine: 10 / 130 / 250 / 370 / 500

- Brake Balance: 10 / 130 / 250 / 370 / 500
- Differential: 10 / 130 / 250 / 370 / 500
- Suspension: 10 / 130 / 250 / 370 / 500
- Tyre: super-soft / soft / medium / hard

From the Team Analytics Website we get the following information from Gunnar: “One thing we did was to debunk the myth that setup should be changed according to fuel load or the tyres.” This implies that setup factors can be optimized independently of tyres and fuel load. And strategy factors can be evaluated holding setup fixed. This allows us to separate the experiment into two phases.

In the first phase we estimate the main effects of the six setup variables, holding tyre compound and fuel strategy constant. As a full factorial design is not feasible we use D-optimality to come up with an experimental design, which maximizes the precision of the car setup coefficients given a limited amount of experimental runs (70=120- 50 laps for phase 2).

The resulting design achieves a solid D-efficiency of 42,1% and maintains low correlations between the factors with the largest absolute correlation being 0,16. This ensures that the influence of each individual parameter can be statistically isolated during analysis. Consequently, this approach maximizes the information gathered about the vehicle’s performance while significantly minimizing the total number of practice laps required for testing when compared to a full factorial design.

In the second phase the setup is fixed and we compare tyre compounds to understand lap time and degradation trade-offs as well as implicit pit stop costs. Because the number of strategy factors is small and the factor levels are few, a full factorial design is feasible and preferred, as it allows unbiased and transparent comparison of all tyre compounds without confounding. This full factorial design ensures that differences in lap time and degradation across tyre types can be directly attributed to the tyre choice, providing a clear basis for race strategy decisions. We assume that softer tyre compounds degrade faster but achieve shorter lap times than harder compounds. To efficiently learn about degradation behavior under a limited lap budget, we run longer stints on the extreme compounds (super-soft and hard), which are expected to bracket the degradation patterns of the intermediate compounds. Shorter stints on the soft and medium tyres are still included to directly observe their performance levels, while the longer stints on the extremes improve identification of degradation dynamics. Therefore we decide to run 15 laps on the super-soft, 25 laps on the hard tyre and 5 laps on the soft and medium tyre each.

```
##
## super_soft      soft     medium      hard
##      15          5         5        25
##
##   RearW FrontW Engine BrakeBalance Differential Suspension Tyre Lap
## 1    500    500    500       500       500      10 super_soft  1
## 1.1   500    500    500       500       500      10 super_soft  2
## 1.2   500    500    500       500       500      10 super_soft  3
## 1.3   500    500    500       500       500      10 super_soft  4
## 1.4   500    500    500       500       500      10 super_soft  5
## 1.5   500    500    500       500       500      10 super_soft  6
```

1. Experiment: 25 Laps, Hart, mit 120 Fuel → Reifen degradiert linear → Fuel level linear abnehmend → Einfluss von Fuel auf Laptime scheint größer zu sein von Reifen (da Rundenzeit sinkt)
2. Experiment: 2 Laps, Soft, 5 Fuel → Fuel level linear abnehmend, egal welcher Reifen drauf ist → Reifen degradation höher für weichen Reifen

Idee: Wenn Fuel und Reifen unabhängig von einander degradieren, können wir mehrere Stints mit einer Runde fahren, um immer mit neuem Reifen zu starten (diesen also konstant halten). So können wir, wenn wir den Fuel ändern, den Einfluss von Fuel auf die Rundenzeit ermitteln.

3. Experiment: 5 Stints a 1 Runde, Soft, Fuel 100/80/60/40/20, weil 120 haben wir ja schon.

Um zu prüfen, ob das Fuel Level mit unterschiedlichen Reifen einen Einfluss auf die Rundenzeit hat, machen wir das dritte Experiment nochmal mit dem harten Reifen.

4. Experiment: 5 Stints a 1 Runde, Hart, Fuel 100/80/60/40/20, weil 120 haben wir ja schon

Dann müssen wir nur noch die unterschiedlichen Reifen testen. 4. Experiment: 15 Runden, Soft, Fuel 120

5. Experiment: 3 Runden, Medium, Fuel 120

Frage: Müssen wir dieses Experiment für alle Reifen durchführen? Frage: Können wir den Fehler, der auf die Rundenzeit addiert wird abschätzen?

Erkenntnisse: Reifen degradiert linear, aber unterschiedlich für Reifenmischung Fuel level linear abnehmend, egal welcher Reifen drauf ist Super soft lässt sich nicht fahren, wahrscheinlich weil es zu warm ist Pitstops können in der Practice nicht simuliert werden (es kann nicht mit zu wenig Sprit gestartet werden)

Task 2

Für das Rennen in England soll ausschließlich mit der Multi-Armed-Bandit (MAB) Methode gearbeitet werden, die für das vorliegende Problem relativ ungeeignet ist. Es soll ein sehr großer Parameterraum ohne zusätzliche Anwendung von more involved modelln mit nur sehr wenigen Ziehungen aus den zugrundeliegenden Verteilungen erkundet werden, um ein optimales Setup und eine optimale Strategie für das Rennen zu finden.

Aus den verschiedenen Setup- und Strategieparametern gemeinsame Tupel zu bilden, ist dank der Unabhängigkeit des Setups von den Reifen nicht nötig (ein Setup das auf "soft" besser funktioniert ist auch konsistent auf "hard" besser. Demnach wird im Folgenden das Problem in zwei Teilprobleme unterteilt: 1. Bestimmung des besten Setups aus einer vordefinierten Menge an möglichen Setups. 2. Ableitung der bestmöglichen Strategie aus einer vordefinierten Menge an möglichen Strategien.

Dass nur sehr wenige Übungsrunden zu Verfügung stehen hat nicht nur Auswirkung auf die Menge der möglichen Tupel, die verglichen werden, sondern auch auf die Wahl, welcher MAB Algorithmus verwendet wird. Hier jetzt über epsilon greedy, ucb und thompson sprechen. Thompson zitieren für den Fall dass nur wenige Pulls zur Verfügung stehen kann sich Thompson schnell auf eine option einschießen, die für das vorliegende problem suboptimal ist. Für das Setting wie es hier gegeben ist bieten sich algorithmen an, die einen starken Fokus auf exploration legen oder ausschließlich explorieren.

1. Bestimmung des Setup Aufgrund der limitierten Anzahl an Übungsrunden besteht ein Trade-off zwischen der Anzahl der Bandit-Arme (d. h. Setup-Parameter-Tupeln) und der Anzahl an Übungsrunden pro Arm. Wenn zu viele verschiedene Tupel erkundet werden, entfallen auf jeden Arm zu wenige Übungsrunden, sodass die Performance-Schätzungen stark verrauscht und damit wenig aussagekräftig sind. Die Setup-Tupel werden im Folgenden so gewählt, dass eine möglichst breite Abdeckung des Parameterraums erzielt wird.

Die Track characteristics von England zeigen folgendes Bild auf: cornering ist gering (23/100), es herrscht ein sehr hohes level an grip (79/100) und die Strecke ist hoch gelegen (77/100) sowie nicht rough (1/100).

Folgende findings aus den vorherigen analysen und berücksichtigung von informationen aus dem online-tool "Analytics GP" lassen eine Tendenz der Auswahl an Setups für den Bandit algoritmus zu.

Aerodynamics

Another point that we found was the importance of aerodynamic balance, indicating that downforce components must be tuned in concert rather than in isolation to maximize speed. Das impliziert keine verschiedenen Werte von rear und front wing zu verwenden. “Car wing angles should be set higher in tracks with more corners” (Analytics GP). Das entspricht der klassischen Empfehlung einer low downforce abstimmung für Strecken mit wenig Kurven.

Enginge

“High engine output induces detrimental wheel spin in low-grip environments, while proving advantageous on high-traction tracks” (our analysis). Therefore selecting higher engine output on high-traction tracks like England might translate into improved acceleration. Nevertheless “pushing the car at high altitude might be suboptimal” (Analytics GP). Demach werden hier zwei sehr verschiedene Einstellungen von engine verwendet.

Break Balance

Zu Break Balance wurden noch keine Erkenntnisse gesammelt, auch die Richtung der Break Balance ist nicht klar. Daher werden hier verschiedene Werte ausprobiert.

Differential

high-cornering circuits require frequent shifting, thereby amplifying the utility of the differential. the adverse impact of larger differential settings mitigates—and eventually vanishes, as track cornering intensity increases. Demnach sollte das Differential für den England GP eher konservativ eingestellt werden und wird zur Vereinfachung der Suche konstant auf 100 gelassen.

Suspension

Für Frankreich war ein Trend hin zu sehr niedriger Suspension einstellung zu sehen. Dies könnte zu der Charakteristik der relativ roughen Strecke passen. Nachdem England nur extrem nicht rough ist, werden bei den folgenden Setup Varianten der Fokus stärker auf eine härtere Suspension einstellung gelegt.

Arm	Rear Wing	Front Wing	Engine	Brake	Differential	Suspension
Balanced	250	250	300	250	100	250
A2	10	10	450	250	100	450
A3	10	10	100	250	100	450
A4	60	60	450	500	100	350
A5	60	60	100	50	100	350
A6	150	150	450	50	100	500
A7	200	200	100	500	100	500

2. Bestimmung der Strategie