

Sensoric
Solutions

Erfahrungsbericht OMS 7

09.11.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
1 Hintergrund der Nutzung	- 1 -
2 Einbau im Fahrzeug.....	- 3 -
3 Verwendung der Messdaten	- 4 -
4 Zusammenfassung	- 6 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufbau und Abfolge unserer State Estimation.....	- 1 -
Abbildung 2 Position des Ground Speed Sensors OM7 am Stallardo '24 des Rennstall Esslingens.....	- 3 -
Abbildung 3 Position der Auswerteeinheit des OMS 7 am Stallardo '24 des Rennstall Esslingens.....	- 3 -
Abbildung 4 Geschwindigkeitssignal über eine Runde bei der Formula Student Netherlands . -	4 -
Abbildung 5 Verteilung der Schräglaufwinkel aller Reifen über eine Runde bei der Formula Student Netherlands.....	- 5 -
Abbildung 6 Differenzwinkel zwischen Vorderachse und Hinterachse bei der Formula Student Ungarn	- 5 -

Abkürzungsverzeichnis

IMU	Inertial Measurement Unit
GPS	Global Positioning System
POI	Point – Of – Interest

1 Hintergrund der Nutzung

Formula Student ist ein internationaler Ingenieurswettbewerb, bei dem Studierendenteams aus aller Welt gegeneinander antreten, um den besten Rennwagen zu entwickeln. Der Rennstall Esslingen entwickelt ein vollelektrisches Fahrzeug mit Allradantrieb, das speziell auf die Anforderungen der Formula Student zugeschnitten ist. Der Fokus liegt dabei auf der Kombination von innovativen Technologien und einer herausragenden Fahrzeugdynamik.

Bei einem vollelektrischen Allradantrieb ist die präzise Steuerung der Antriebskraft auf jedes Rad besonders komplex. Hier kommt unsere **State Estimation** ins Spiel, die in Echtzeit den Zustand des Fahrzeugs, wie etwa die Fahrzeugposition, Geschwindigkeit, Beschleunigung und die Kräfte auf die Räder, überwacht und schätzt. Diese Daten sind essenziell, um das **Torque Vectoring** optimal einzusetzen. Indem wir kontinuierlich den aktuellen Zustand des Fahrzeugs erfassen, können wir sicherstellen, dass jedes Rad exakt die richtige Menge an Drehmoment erhält, um maximale Traktion und Stabilität zu gewährleisten. Die Berechnung der wichtigsten Werte innerhalb unserer State Estimation ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

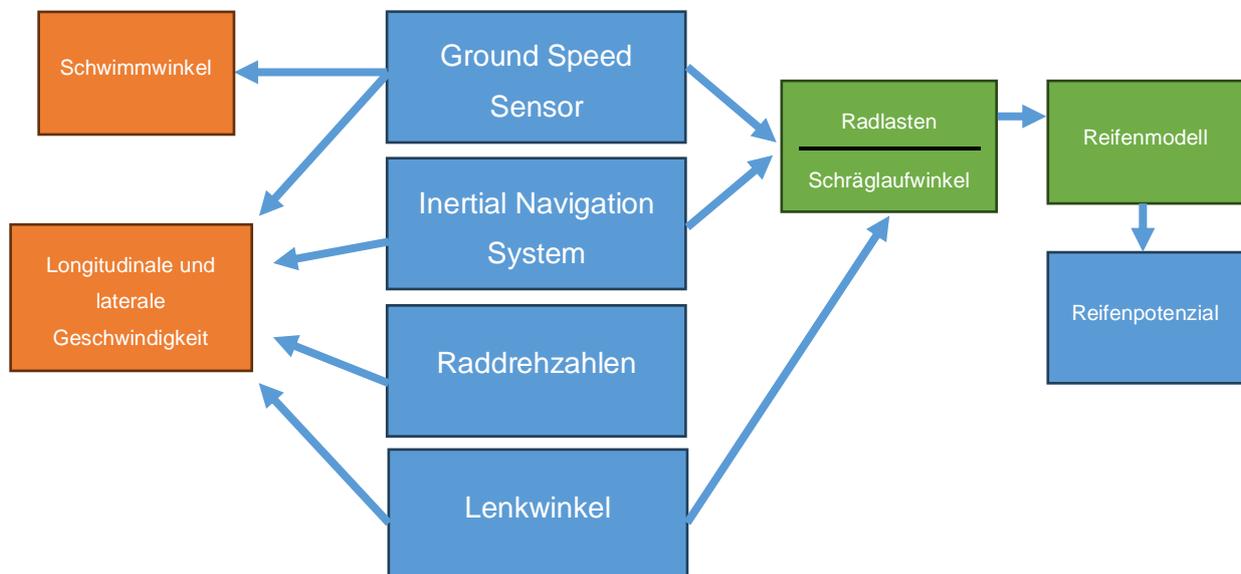


Abbildung 1 Sensorverwendung in der State Estimation

Der wichtigste Aspekt ist die **Geschwindigkeitsschätzung**. Bei einem Allradfahrzeug, insbesondere im Wettbewerb, ist es entscheidend, die tatsächliche Geschwindigkeit des Fahrzeugs möglichst genau zu kennen, um die Dynamik zu kontrollieren. Durch den Einsatz von Sensoren und Algorithmen zur Geschwindigkeitsmessung bzw. -schätzung wird nicht nur die Gesamtgeschwindigkeit ermittelt, sondern auch die Differenzgeschwindigkeiten an den

einzelnen Rädern. Diese Informationen sind entscheidend, um übermäßigen Schlupf an den Rädern zu verhindern und das Fahrzeug auch in anspruchsvollen Kurvenfahrten stabil zu halten. Die Geschwindigkeitsschätzung basiert grundlegend auf der Sensorfusion verschiedener Sensoren wie einer Inertial Measurement Unit (IMU), einem Global Positioning System (GPS), den Raddrehzahlsensoren und dem Ground Speed Sensor. Diese Sensordaten werden in einem **Kalman-Filter** fusioniert, um die Geschwindigkeit zu schätzen und vor allem Sensorausfall abzusichern. Ziel ist es, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs möglichst stabil und realistisch abzuschätzen und diese vor allem für Traktionskontroll-Systeme zu verwenden.

In Kombination mit einem **Torque Vectoring-System** kann mithilfe der Geschwindigkeitsschätzung und der State Estimation schnell und präzise auf jede Fahrsituation reagiert werden. Beispielsweise kann in Kurven oder bei plötzlichen Lastwechseln das Drehmoment gezielt auf Räder umverteilt werden, um ein Ausbrechen des Fahrzeugs zu verhindern. Auf diese Weise erzielt man eine hohe Fahrstabilität und Kurvengeschwindigkeit, die besonders in den dynamischen Disziplinen, wie dem Autocross und Skid Pad, einen großen Vorteil bietet.

Durch die Integration dieser Technologien ist es möglich ein hochleistungsfähiges Elektrofahrzeug zu bauen, das die Fähigkeit besitzt unter allen Bedingungen und trotz unterschiedlichster äußerlicher Einflüsse präzise und stabil bleibt. Die Kombination aus State Estimation, Geschwindigkeitsschätzung und Torque Vectoring gibt uns die Möglichkeit, um im Wettbewerb das Potential des Fahrzeuges bestmöglich auszuschöpfen.

Im vergangenen Jahr (Saison 2022/2023) haben wir die Geschwindigkeitsschätzung hauptsächlich durch unser INS-System durchgeführt. Hier ist uns jedoch gerade bei der Geschwindigkeitsmessung und -berechnung anderer Sensoren sowie durch die Validierung mit einem Ground Speed Sensor aufgefallen, dass die Schätzung zeitweise bis zu 20 km/h fehlerhaft war. Um dies zu verhindern, wollten wir nicht nur zur Validierung, sondern auch während unserer Rennen einen Ground Speed Sensor an unserem Fahrzeug montieren und somit die Geschwindigkeitsschätzung optimieren. Zudem ist es uns mit diesem Sensor möglich, den echten Schwimmwinkel des Fahrzeugs direkt zu bestimmen.

Hierfür hat uns **Sensoric Solution** freundlicherweise einen **OMS 7** zur Verfügung gestellt, den wir sowohl in der Testphase als auch während unserer Rennen nutzen durften (Mai 2024 – September 2024). Durch die schnelle Messung des Sensors war es möglich, die Werte mit einer Frequenz von **1000 Hz** aufzunehmen.

2 Einbau im Fahrzeug

Da es sich bei dem Fahrzeug um ein einsitziges Formelfahrzeug handelt, waren das Packaging und die Positionierung am Fahrzeug eine besonders große Herausforderung. Gerade bei der Positionierung mussten Dinge wie die Mindesthöhe des Sensors eingehalten werden; gleichzeitig sollte der Sensor so wenig Einfluss auf die Aerodynamik wie möglich haben. Aus diesem Grund haben wir uns für eine Position des Sensors auf Höhe der Hinterachse entschieden. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt.

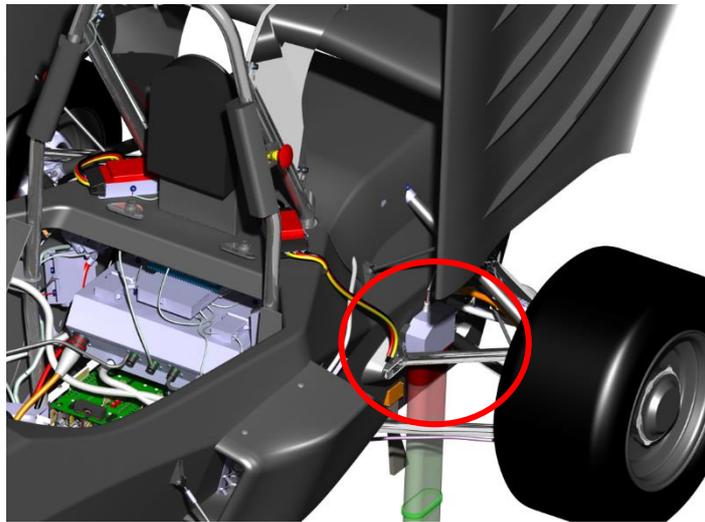


Abbildung 2 Position des Ground Speed Sensors OMS 7 am Stallardo '24 des Rennstall Esslingens

Die Auswerteeinheit haben wir im Fahrzeug positioniert (siehe Abbildung 3). Hier war das Packaging besonders herausfordernd, da der Platz hier sehr begrenzt war. Zudem haben wir die Einheit, soweit möglich, entkoppelt und vor Stößen sowie Vibrationen geschützt.

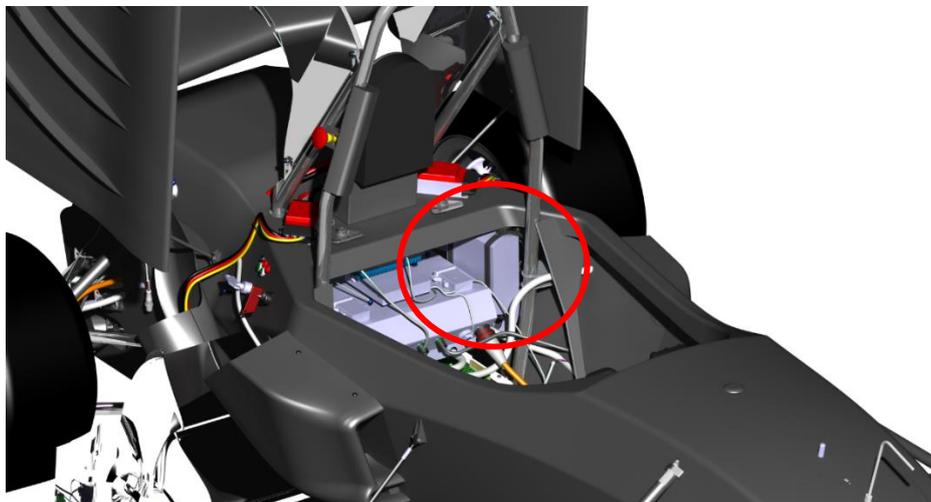


Abbildung 3 Position der Auswerteeinheit des OMS 7 am Stallardo '24 des Rennstall Esslingens

Durch die Positionierung im CAD haben wir auch die Position in Relation zu unserem **Point of Interest (POI)** ausmessen können, sodass dies bereits bei den Sensordaten berücksichtigt wird. Somit war es uns möglich, die fusionierten Ergebnisse aus dem Ground Speed Sensor und seiner eigenen IMU positionskorrigiert auf unseren Schwerpunkt anzuwenden, ohne die Umrechnung selbst durchführen zu müssen. Zudem können mehrere Voreinstellungen gespeichert werden, sodass die Nutzung an einem anderen Fahrzeug mit einer anderen Befestigungsposition problemlos und schnell funktioniert.

3 Verwendung der Messdaten

Grundsätzlich haben wir den Sensor für zwei Aspekte genutzt. Zum einen war es uns möglich, eine hochpräzise Messung der Längs- sowie der Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs zu ermitteln und damit ideale Werte für unsere Schlupfregelung zu erhalten. Zum anderen konnten wir über den OMS 7 den Schwimmwinkel direkt messen.

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, sind teilweise Abweichungen der Geschwindigkeit zwischen der Messung des Ground Speed Sensors und dem INS-System erkennbar. Diese Geschwindigkeitsdifferenz von 5 km/h resultiert umgerechnet in einer Drehzahldifferenz von $60 \frac{U}{min}$ am Rad, was eine große Auswirkung auf die Funktionalität unserer Schlupfkontrolle hat und sich besonders in den Beschleunigungsphasen negativ auf das Fahrverhalten und die Rundenzeit auswirkt.

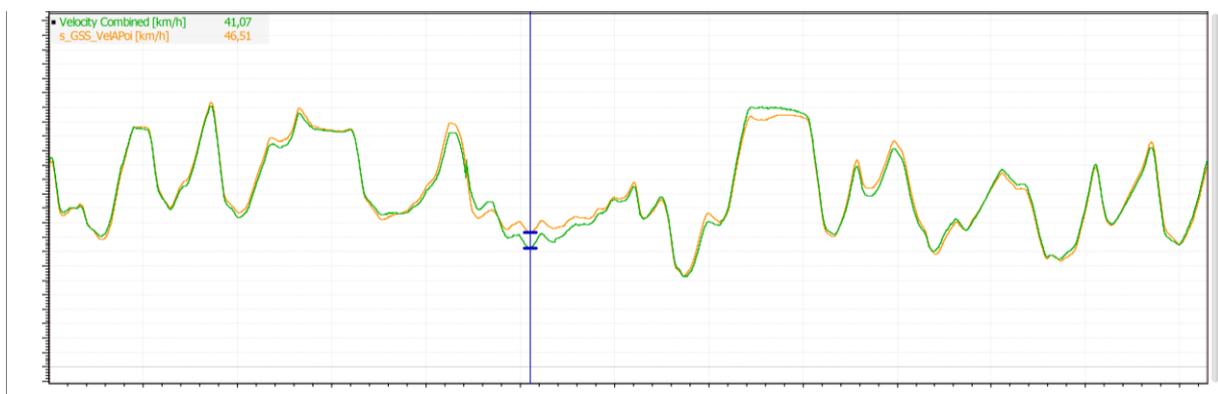


Abbildung 4 Geschwindigkeitssignal über eine Runde bei der Formula Student Netherlands

Auch für unser Torque Vectoring haben wir die Geschwindigkeit des Fahrzeugs verwendet, da dieses aufgrund seiner Komplexität und Abhängigkeiten ebenfalls durch die Geschwindigkeit beeinflusst wird.

Weiterhin konnten wir den Sensor verwenden, um die Fahrdynamik unseres Fahrzeugs besser einschätzen zu können. Durch die Messungen des Ground Speed Sensors können wir durch Umrechnung den Schräglaufwinkel jedes einzelnen Rades bestimmen, was wir zur Optimierung unseres Fahrzeugs verwendet haben.

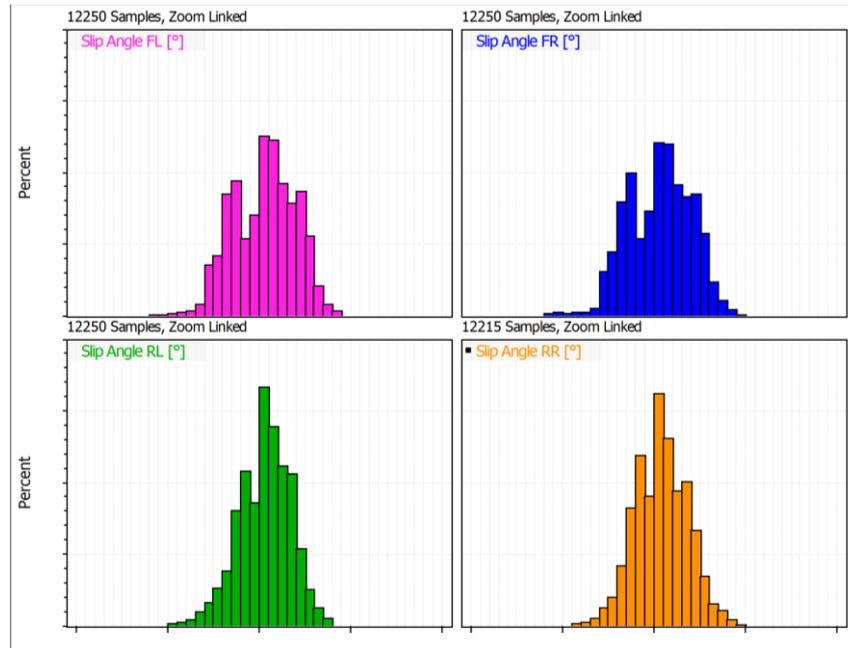


Abbildung 5 Verteilung der Schräglaufwinkel aller Reifen über eine Runde bei der Formula Student Netherlands

Zudem können wir über die Schräglaufwinkel auch die Über- bzw. Untersteuertendenzen ermitteln und daraufhin Anpassungen am Setup vornehmen, um das Fahrzeug fahrbarer zu machen.

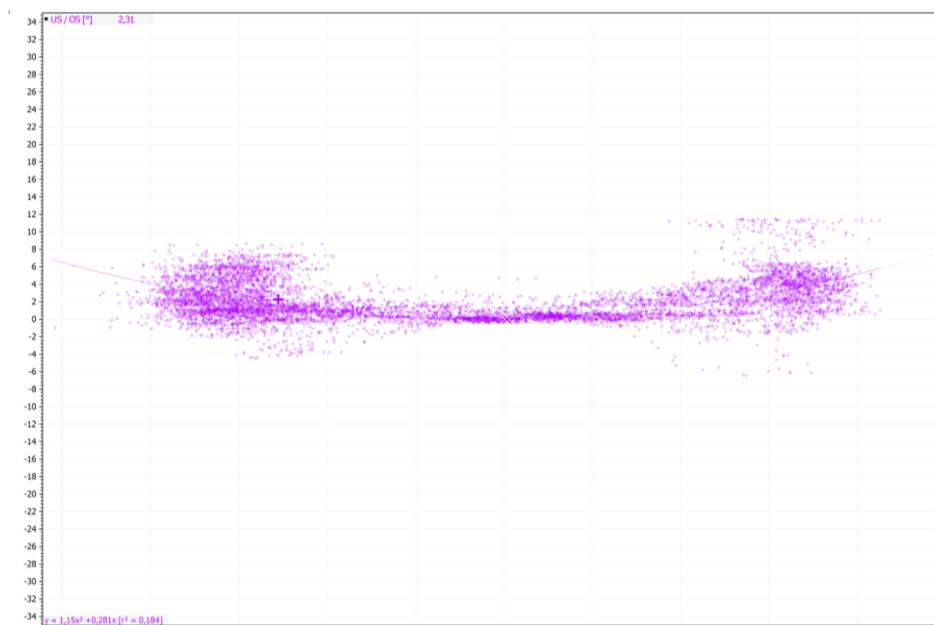


Abbildung 6 Differenzwinkel zwischen Vorderachse und Hinterachse bei der Formula Student Ungarn

In Abbildung 6 ist deutlich zu erkennen, dass der Differenzwinkel zwischen Vorder- und Hinterachse bei steigender Querbearbeitung größtenteils positive Werte aufweist. Daraus konnten wir ein untersteuerndes Verhalten ableiten und dies für das nächste Rennen anpassen.

4 Zusammenfassung

Durch die Nutzung des von Sensoric Solutions zur Verfügung gestellten Ground Speed Sensors OMS 7 konnte unser Team dieses Jahr erhebliche Verbesserungen in der Fahrzeugdynamik erzielen. Der Sensor ermöglichte eine präzise Messung der Längs- und Quergeschwindigkeit mit einer Frequenz bis zu 1000 Hz. Dies führte zu einer deutlichen Reduktion von Geschwindigkeitsabweichungen, die zuvor bis zu 20 km/h betragen.

Dank des Sensors konnten wir die Geschwindigkeitsdifferenzen an den Rädern genauer bestimmen, was eine optimierte Schlupfregelung und verbesserte Traktion ermöglichte. Zudem half uns der Sensor, den Schwimmwinkel des Fahrzeugs zu ermitteln, wodurch wir das Fahrzeugverhalten in Kurven besser analysieren und anpassen konnten. Dies resultierte in einer gesteigerten Fahrstabilität und verringerten Rundenzeiten.

Der Ground Speed Sensor lieferte auch wichtige Daten zur Bestimmung des Schräglaufwinkels, was uns bei der Feinabstimmung des Fahrzeuges half. Durch die Analyse dieser Daten konnten wir untersteuerndes Verhalten frühzeitig erkennen und Anpassungen am Set-Up vornehmen.