

# ONE-PEDAL DRIVING RAPID FEATURE DEVELOPMENT WITH SIMULINK

MATHWORKS AUTOMOTIVE CONFERENCE  
MAY 9, 2017



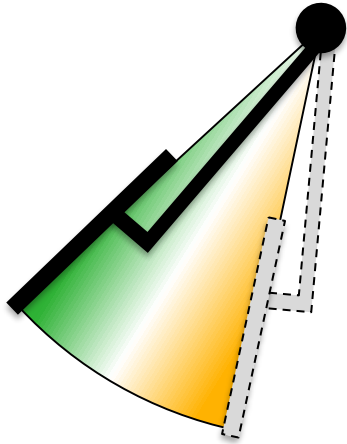
**Nathaniel Michaluk**

**Control Algorithm Engineer, Global Electrification Controls**

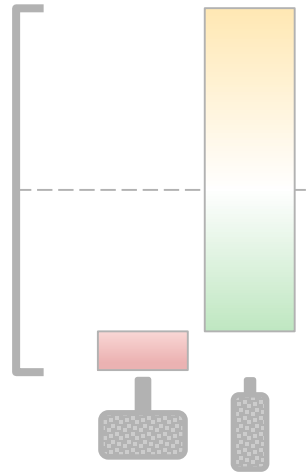
**GENERAL MOTORS**  
GLOBAL PROPULSION SYSTEMS

# This talk will introduce One-Pedal Driving, highlight its benefits, and describe Simulink's role in its development

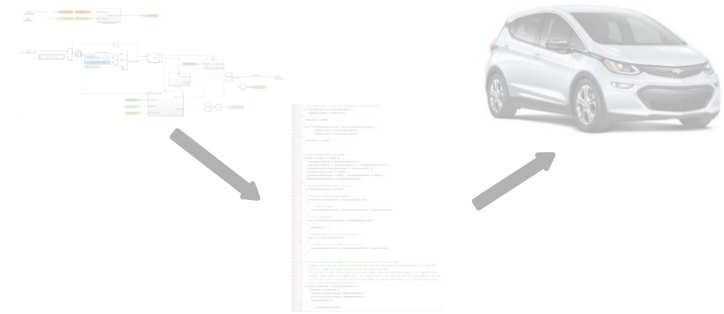
## 1. One-Pedal Driving Basics



## 2. Benefits of One-Pedal Driving

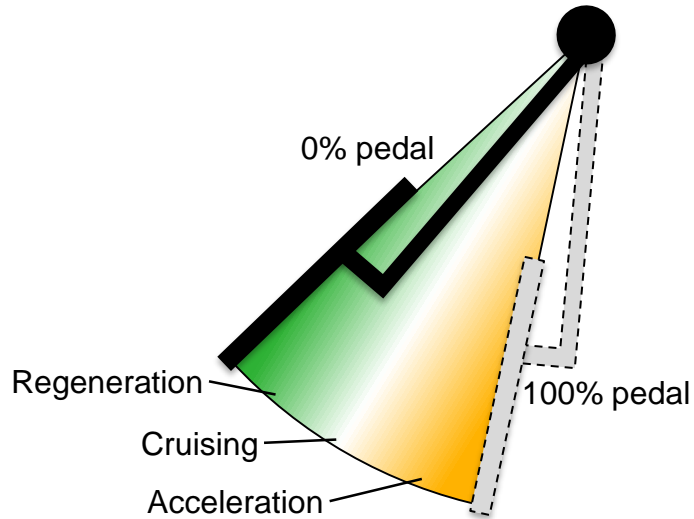


## 3. Feature Development with Simulink



# One-Pedal Driving allows for most driving to be performed without leaving the accelerator

**Strong coast regeneration provides confident braking levels**

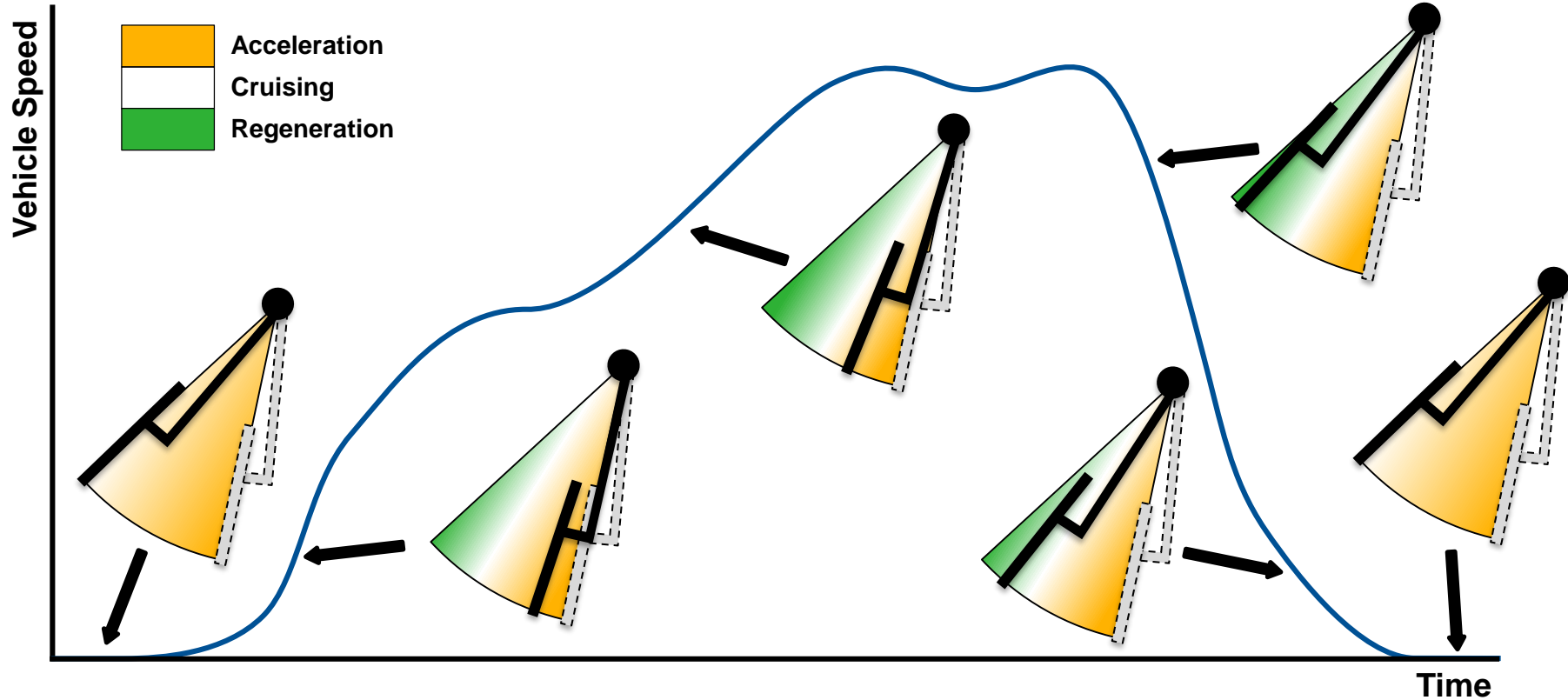


**The vehicle stops smoothly and holds stops with One-Pedal Driving**





# The acceleration pedal dynamically adjusts to provide responsive propulsion and braking



# With One-Pedal Driving, the Bolt EV can achieve a stop on most grades

**Level Roads**



**Uphill Roads**



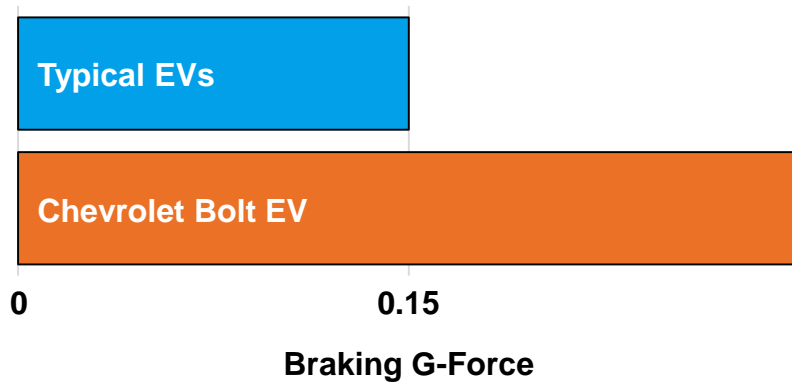
**Slight Downhill Roads**



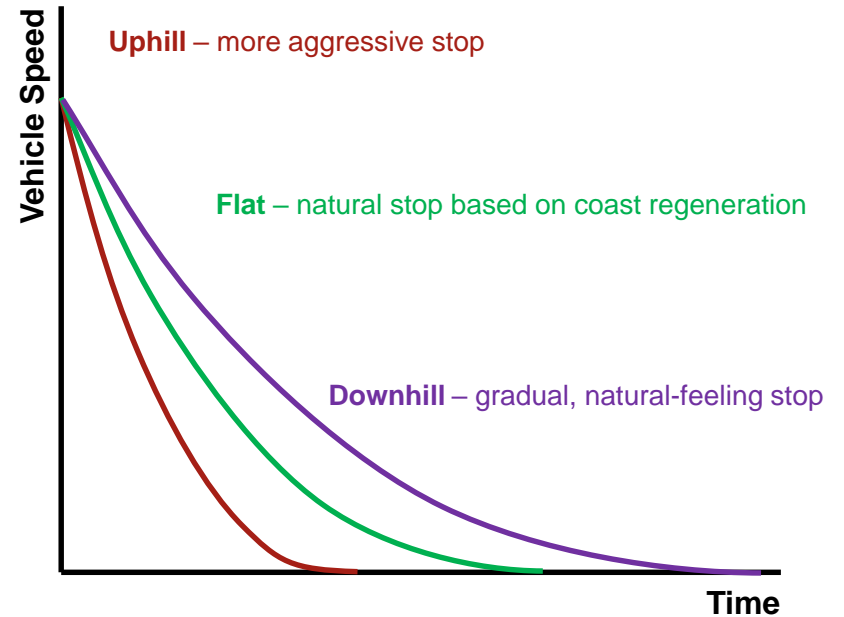
# One-Pedal Driving is realized through two key aspects

## Strong coast regeneration

### Maximum Coast Regeneration



## Speed trajectory control for complete stops



# One-Pedal Driving is part of a customized driving experience

Activate One-Pedal Driving by shifting to “Low”

Temporarily activate One-Pedal Driving by holding the Regen-on-Demand paddle

Use both together for the highest level of regeneration



## Coast (Zero Pedal) Regeneration

Drive

Low

Drive with Regen-on-Demand

Low with Regen-on-Demand

# Convenience features assist the driver when using One-Pedal Driving



**The vehicle will remain at stop upon releasing the regen paddle**

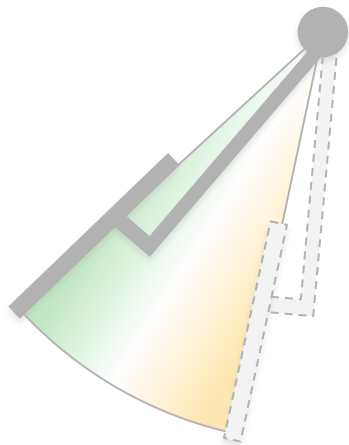
**If the driver begins to exit, the vehicle will automatically apply the park brake or shift to park**



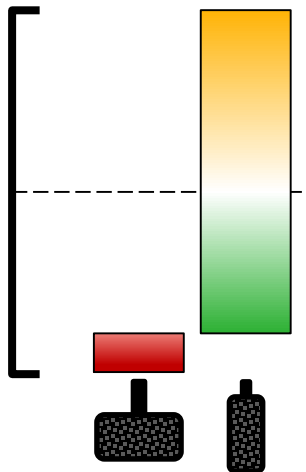


# This talk will introduce One-Pedal Driving, highlight its benefits, and describe Simulink's role in its development

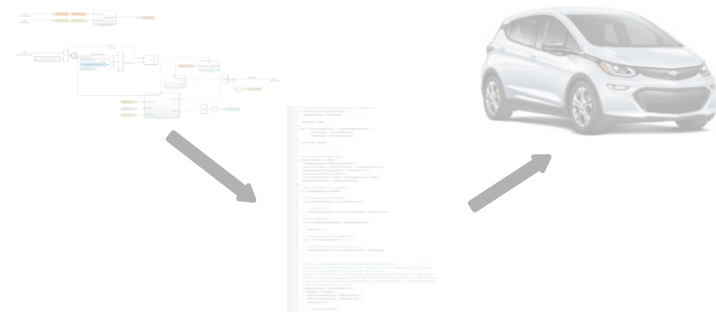
## 1. One-Pedal Driving Basics



## 2. Benefits of One-Pedal Driving

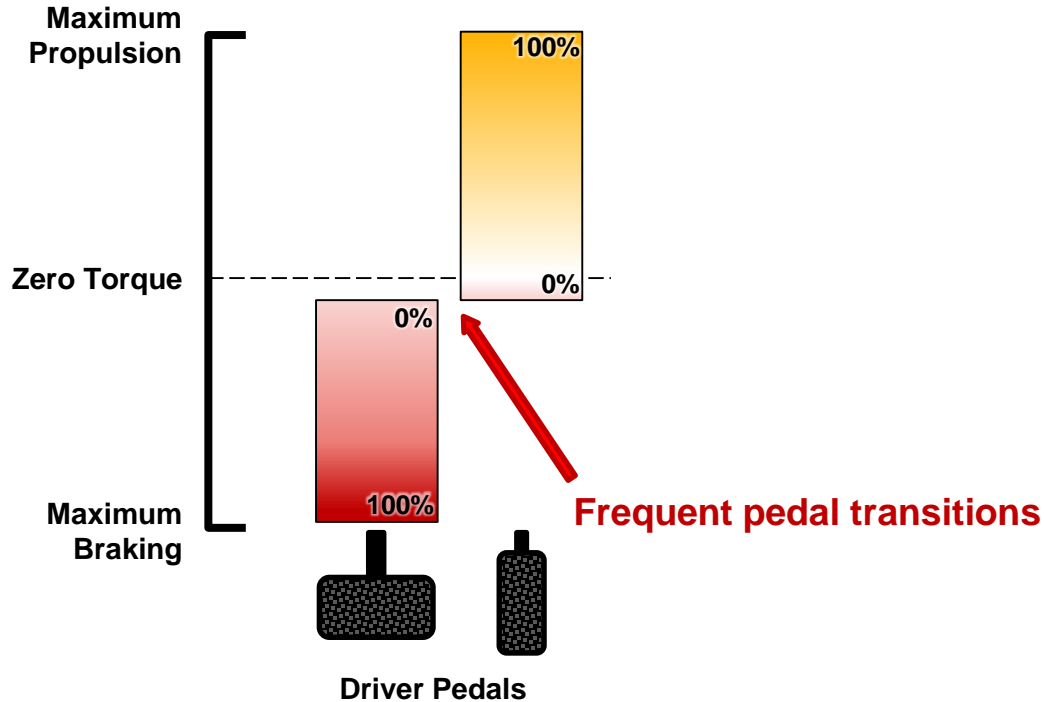


## 3. Feature Development with Simulink

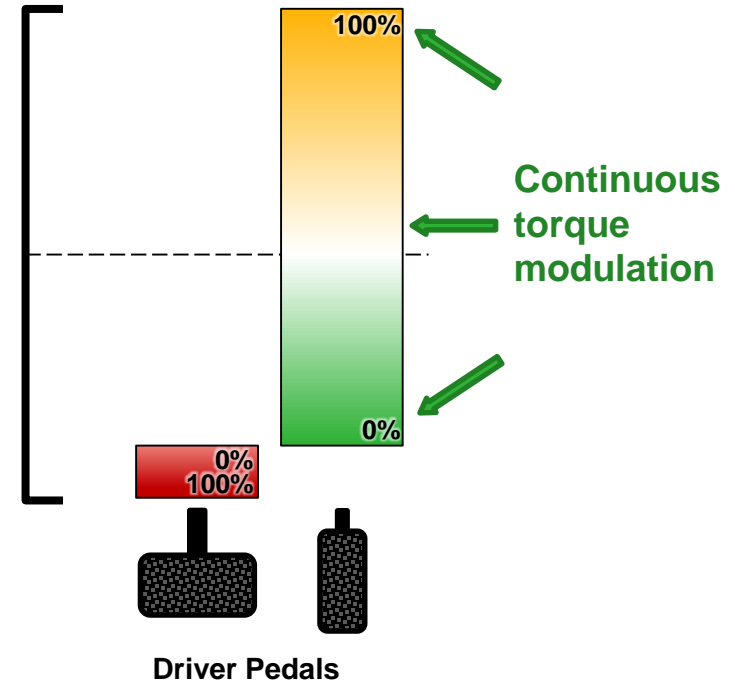


# Ease-of-use – provides continuous control with fewer pedal transitions

## Conventional Driving

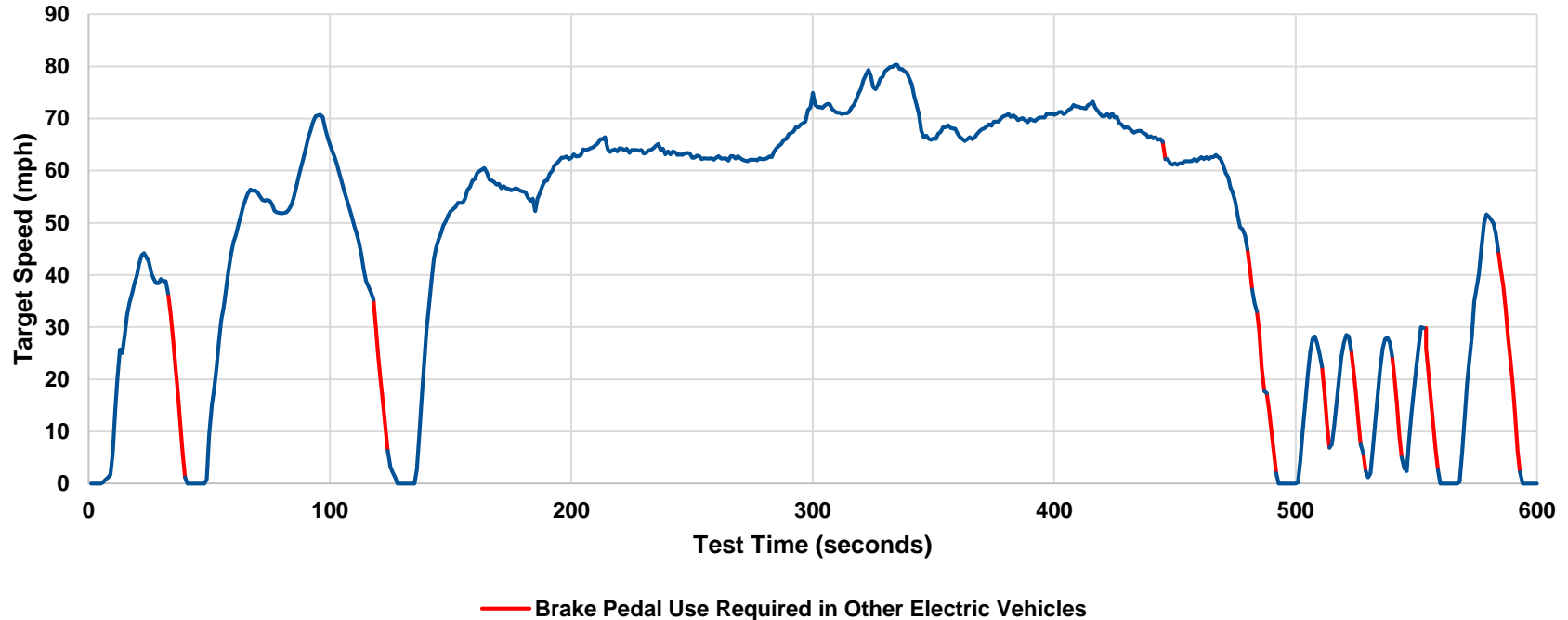


## One-Pedal Driving



# Energy savings – One-Pedal Driving improves real-world EV range by increasing regeneration without expensive blended braking systems

## Example: Additional Energy Capture with One-Pedal Driving US06 Aggressive Driving Cycle



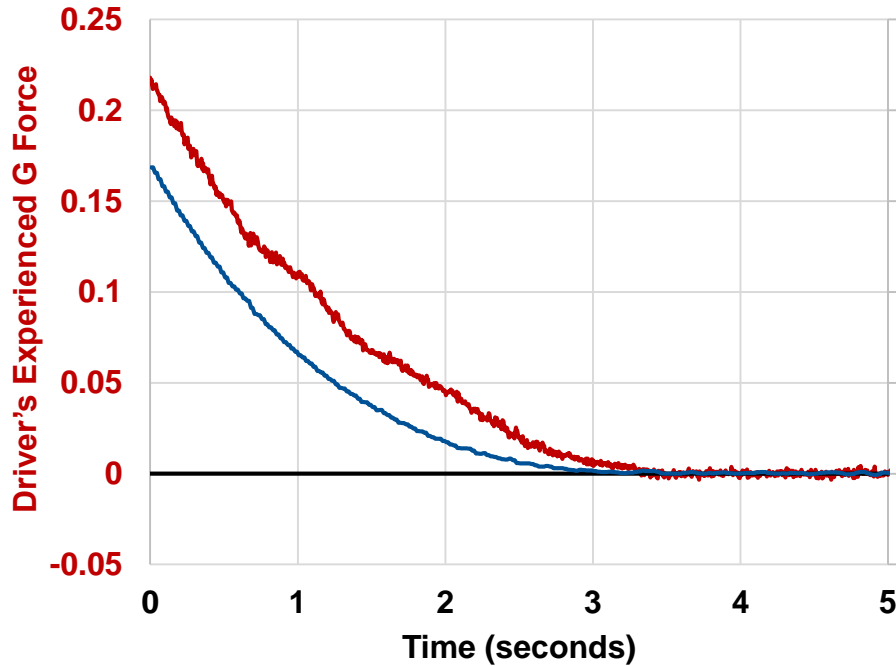
Performance – effortlessly smooth driving on winding roads



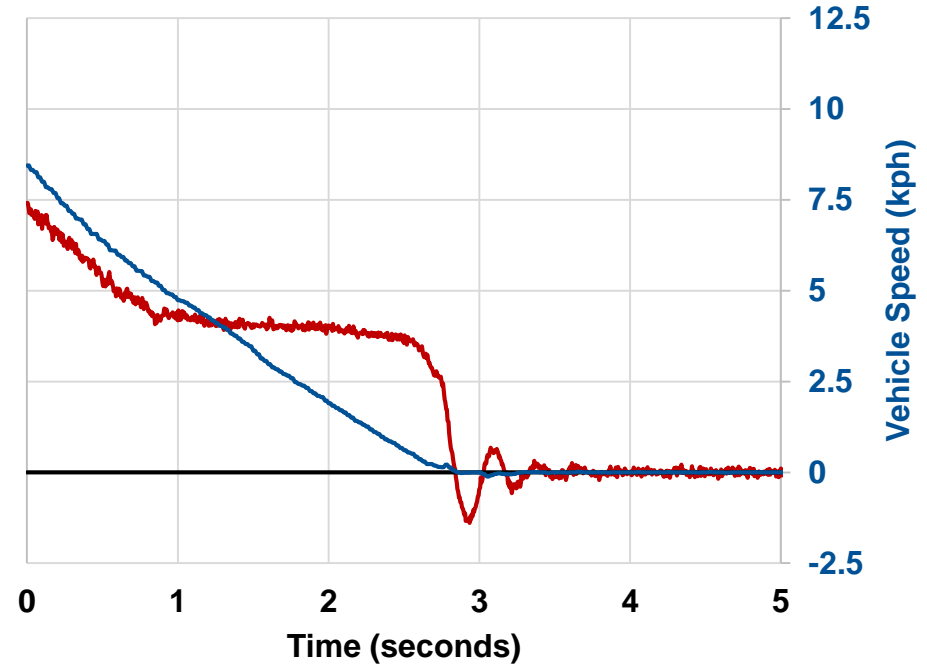


# Performance – jerk-free stops with no skill required

## Complete Stop with One-Pedal Driving



## Complete Stop using Brakes



— Vehicle Speed

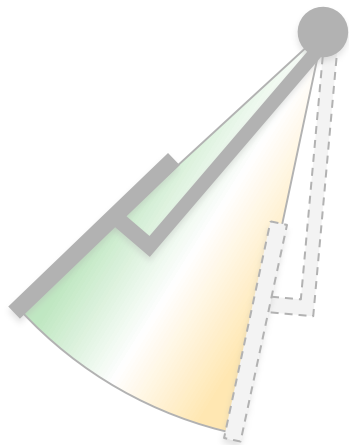
— Driver's Experienced G Force

FUN – an electric-only experience that you will never want to give up!

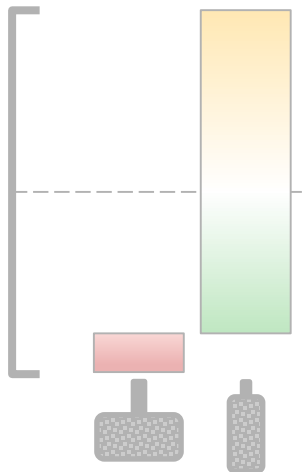


# This talk will introduce One-Pedal Driving, highlight its benefits, and describe Simulink's role in its development

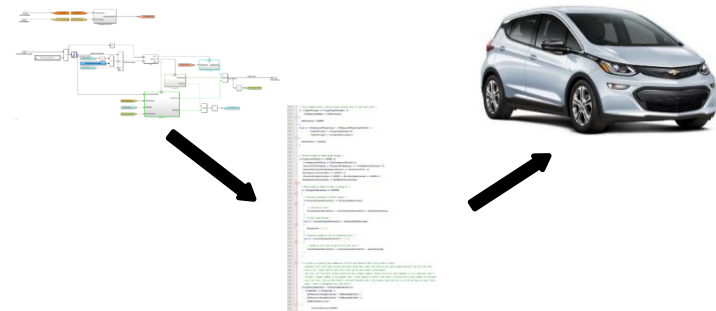
## 1. One-Pedal Driving Basics



## 2. Benefits of One-Pedal Driving

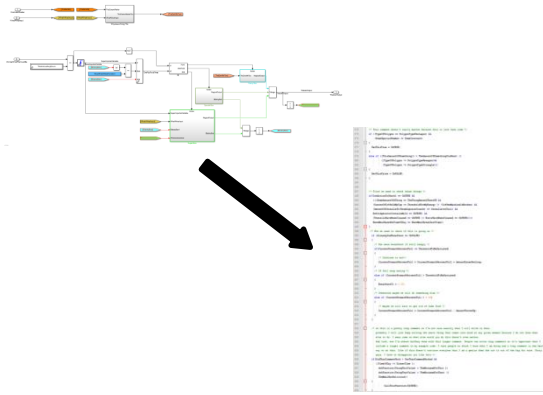


## 3. Feature Development with Simulink

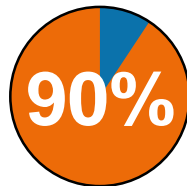
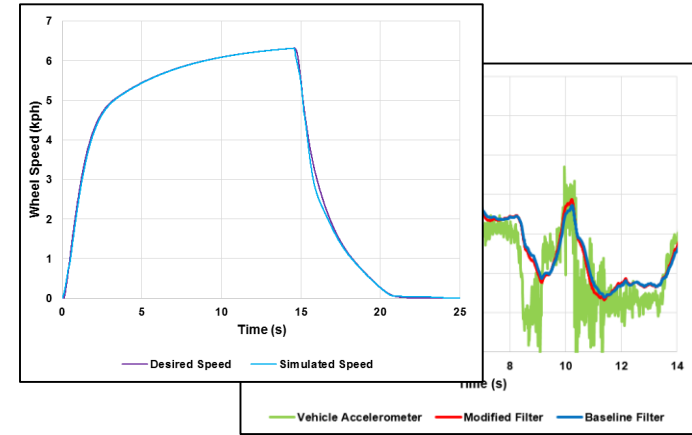


# Simulink was a key enabler for a short development cycle of One-Pedal Driving

For its software creation capabilities



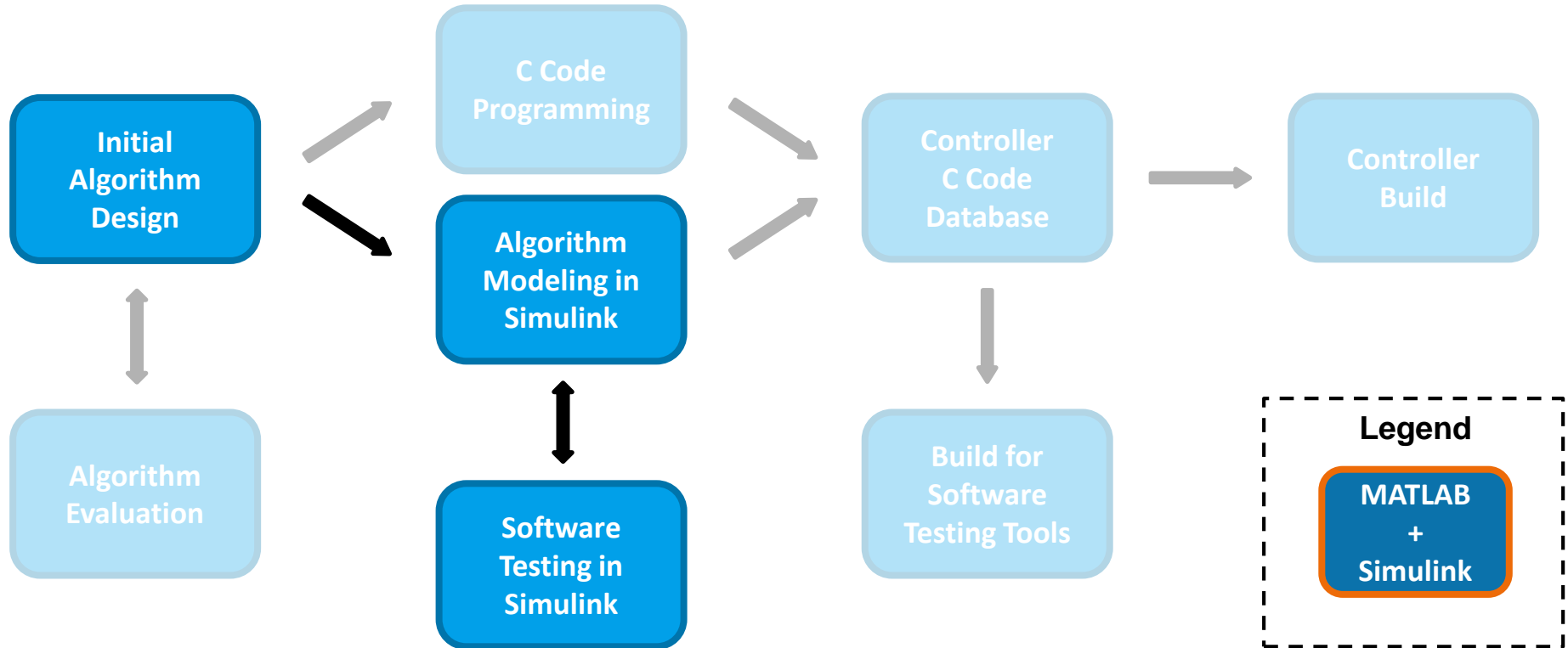
As a support tool for control system development



of One-Pedal Driving software written in Simulink

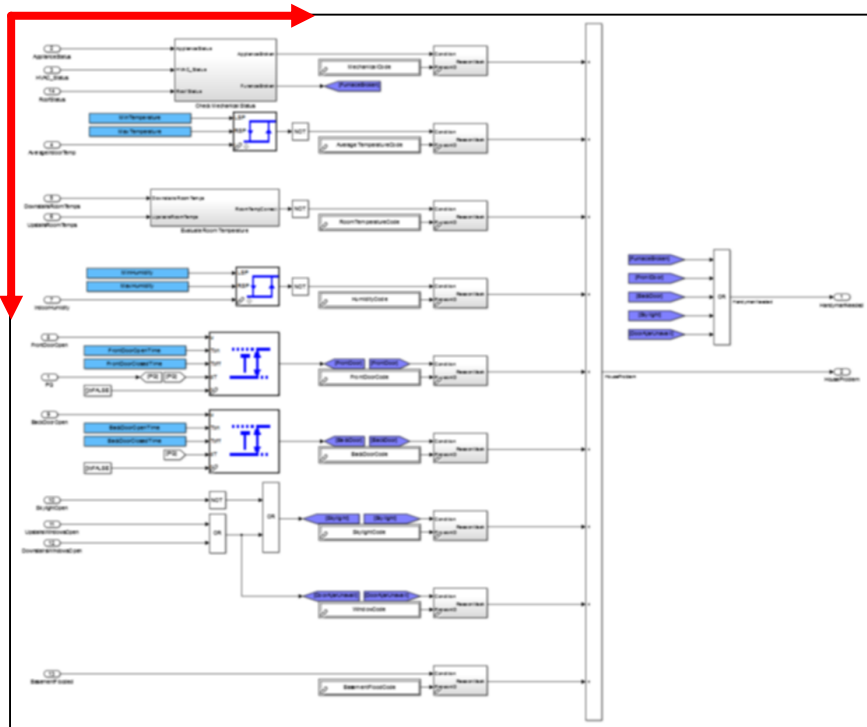


# Simulink's capabilities prove useful throughout the entire software development process



# Simulink modeling facilitates the brainstorming, creation, and review of algorithms

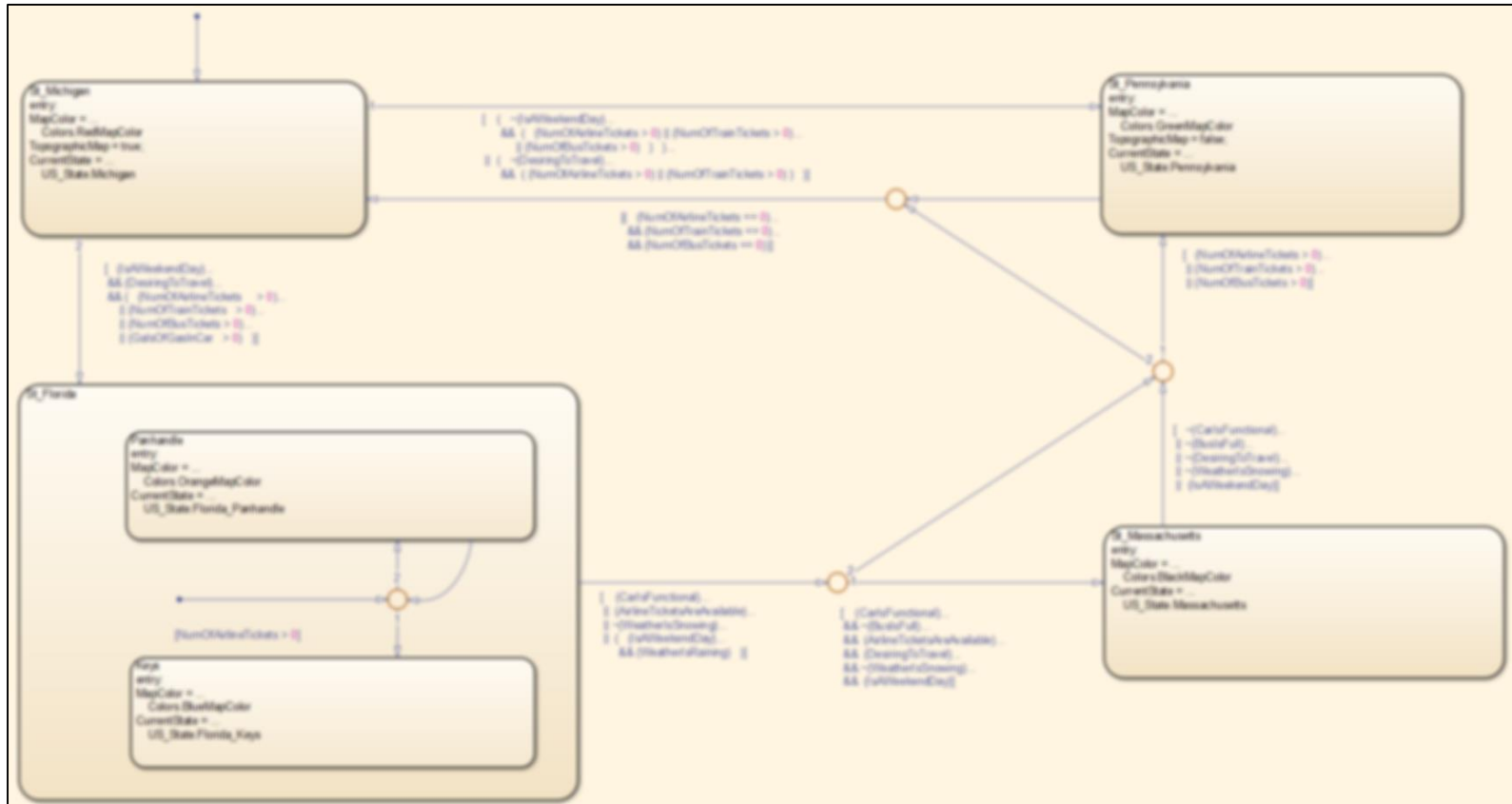
## Visual content in two dimensions



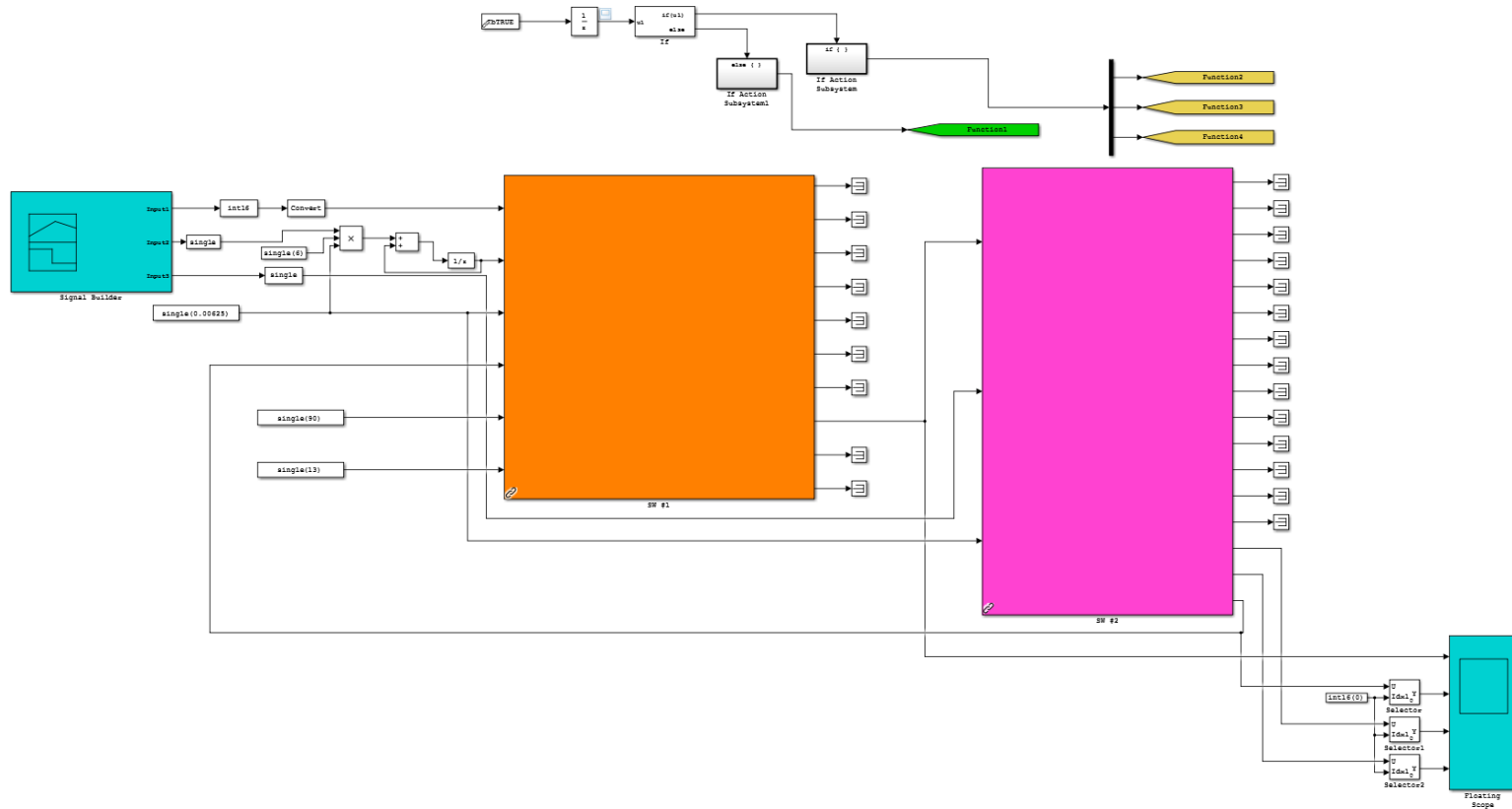
## Textual content in one dimension

```
1  % This comment doesn't really matter because this is just like code %  
2  if (strcmp(hlgsen == hlgsen) && strcmp(hlgsen == hlgsen))  
3      %  
4      %  
5      %  
6      %  
7      %  
8      %  
9      %  
10     %  
11     %  
12     %  
13     %  
14     %  
15     %  
16     %  
17     %  
18     %  
19     %  
20     %  
21     %  
22     %  
23     %  
24     %  
25     %  
26     %  
27     %  
28     %  
29     %  
30     %  
31     %  
32     %  
33     %  
34     %  
35     %  
36     %  
37     %  
38     %  
39     %  
40     %  
41     %  
42     %  
43     %  
44     %  
45     %  
46     %  
47     %  
48     %  
49     %  
50     %  
51     %  
52     %  
53     %  
54     %  
55     %  
56     %  
57     %  
58     %  
59     %  
60     %  
61     %  
62     %  
63     %  
64     %  
65     %  
66     %  
67     %  
68     %  
69     %  
70     %  
71     %  
72     %  
73     %  
74     %  
75     %  
76     %  
77     %  
78     %  
79     %  
80     %  
81     %  
82     %  
83     %  
84     %  
85     %  
86     %  
87     %  
88     %  
89     %  
90     %  
91     %  
92     %  
93     %  
94     %  
95     %  
96     %  
97     %  
98     %  
99     %  
100    %  
101    %  
102    %  
103    %  
104    %  
105    %  
106    %  
107    %  
108    %  
109    %  
110    %  
111    %  
112    %  
113    %  
114    %  
115    %  
116    %  
117    %  
118    %  
119    %  
120    %  
121    %  
122    %  
123    %  
124    %  
125    %  
126    %  
127    %  
128    %  
129    %  
130    %  
131    %  
132    %  
133    %  
134    %  
135    %  
136    %  
137    %  
138    %  
139    %  
140    %  
141    %  
142    %  
143    %  
144    %  
145    %  
146    %  
147    %  
148    %  
149    %  
150    %  
151    %  
152    %  
153    %  
154    %  
155    %  
156    %  
157    %  
158    %  
159    %  
160    %  
161    %  
162    %  
163    %  
164    %  
165    %  
166    %  
167    %  
168    %  
169    %  
170    %  
171    %  
172    %  
173    %  
174    %  
175    %  
176    %  
177    %  
178    %  
179    %  
180    %  
181    %  
182    %  
183    %  
184    %  
185    %  
186    %  
187    %  
188    %  
189    %  
190    %  
191    %  
192    %  
193    %  
194    %  
195    %  
196    %  
197    %  
198    %  
199    %  
200    %  
201    %  
202    %  
203    %  
204    %  
205    %  
206    %  
207    %  
208    %  
209    %  
210    %  
211    %  
212    %  
213    %  
214    %  
215    %  
216    %  
217    %  
218    %  
219    %  
220    %  
221    %  
222    %  
223    %  
224    %  
225    %  
226    %  
227    %  
228    %  
229    %  
230    %  
231    %  
232    %  
233    %  
234    %  
235    %  
236    %  
237    %  
238    %  
239    %  
240    %  
241    %  
242    %  
243    %  
244    %  
245    %  
246    %  
247    %  
248    %  
249    %  
250    %  
251    %  
252    %  
253    %  
254    %  
255    %  
256    %  
257    %  
258    %  
259    %  
260    %  
261    %  
262    %  
263    %  
264    %  
265    %  
266    %  
267    %  
268    %  
269    %  
270    %  
271    %  
272    %  
273    %  
274    %  
275    %  
276    %  
277    %  
278    %  
279    %  
280    %  
281    %  
282    %  
283    %  
284    %  
285    %  
286    %  
287    %  
288    %  
289    %  
290    %  
291    %  
292    %  
293    %  
294    %  
295    %  
296    %  
297    %  
298    %  
299    %  
300    %  
301    %  
302    %  
303    %  
304    %  
305    %  
306    %  
307    %  
308    %  
309    %  
310    %  
311    %  
312    %  
313    %  
314    %  
315    %  
316    %  
317    %  
318    %  
319    %  
320    %  
321    %  
322    %  
323    %  
324    %  
325    %  
326    %  
327    %  
328    %  
329    %  
330    %  
331    %  
332    %  
333    %  
334    %  
335    %  
336    %  
337    %  
338    %  
339    %  
340    %  
341    %  
342    %  
343    %  
344    %  
345    %  
346    %  
347    %  
348    %  
349    %  
350    %  
351    %  
352    %  
353    %  
354    %  
355    %  
356    %  
357    %  
358    %  
359    %  
360    %  
361    %  
362    %  
363    %  
364    %  
365    %  
366    %  
367    %  
368    %  
369    %  
370    %  
371    %  
372    %  
373    %  
374    %  
375    %  
376    %  
377    %  
378    %  
379    %  
380    %  
381    %  
382    %  
383    %  
384    %  
385    %  
386    %  
387    %  
388    %  
389    %  
390    %  
391    %  
392    %  
393    %  
394    %  
395    %  
396    %  
397    %  
398    %  
399    %  
400    %  
401    %  
402    %  
403    %  
404    %  
405    %  
406    %  
407    %  
408    %  
409    %  
410    %  
411    %  
412    %  
413    %  
414    %  
415    %  
416    %  
417    %  
418    %  
419    %  
420    %  
421    %  
422    %  
423    %  
424    %  
425    %  
426    %  
427    %  
428    %  
429    %  
430    %  
431    %  
432    %  
433    %  
434    %  
435    %  
436    %  
437    %  
438    %  
439    %  
440    %  
441    %  
442    %  
443    %  
444    %  
445    %  
446    %  
447    %  
448    %  
449    %  
450    %  
451    %  
452    %  
453    %  
454    %  
455    %  
456    %  
457    %  
458    %  
459    %  
460    %  
461    %  
462    %  
463    %  
464    %  
465    %  
466    %  
467    %  
468    %  
469    %  
470    %  
471    %  
472    %  
473    %  
474    %  
475    %  
476    %  
477    %  
478    %  
479    %  
480    %  
481    %  
482    %  
483    %  
484    %  
485    %  
486    %  
487    %  
488    %  
489    %  
490    %  
491    %  
492    %  
493    %  
494    %  
495    %  
496    %  
497    %  
498    %  
499    %  
500    %  
501    %  
502    %  
503    %  
504    %  
505    %  
506    %  
507    %  
508    %  
509    %  
510    %  
511    %  
512    %  
513    %  
514    %  
515    %  
516    %  
517    %  
518    %  
519    %  
520    %  
521    %  
522    %  
523    %  
524    %  
525    %  
526    %  
527    %  
528    %  
529    %  
530    %  
531    %  
532    %  
533    %  
534    %  
535    %  
536    %  
537    %  
538    %  
539    %  
540    %  
541    %  
542    %  
543    %  
544    %  
545    %  
546    %  
547    %  
548    %  
549    %  
550    %  
551    %  
552    %  
553    %  
554    %  
555    %  
556    %  
557    %  
558    %  
559    %  
560    %  
561    %  
562    %  
563    %  
564    %  
565    %  
566    %  
567    %  
568    %  
569    %  
570    %  
571    %  
572    %  
573    %  
574    %  
575    %  
576    %  
577    %  
578    %  
579    %  
580    %  
581    %  
582    %  
583    %  
584    %  
585    %  
586    %  
587    %  
588    %  
589    %  
590    %  
591    %  
592    %  
593    %  
594    %  
595    %  
596    %  
597    %  
598    %  
599    %  
600    %  
601    %  
602    %  
603    %  
604    %  
605    %  
606    %  
607    %  
608    %  
609    %  
610    %  
611    %  
612    %  
613    %  
614    %  
615    %  
616    %  
617    %  
618    %  
619    %  
620    %  
621    %  
622    %  
623    %  
624    %  
625    %  
626    %  
627    %  
628    %  
629    %  
630    %  
631    %  
632    %  
633    %  
634    %  
635    %  
636    %  
637    %  
638    %  
639    %  
640    %  
641    %  
642    %  
643    %  
644    %  
645    %  
646    %  
647    %  
648    %  
649    %  
650    %  
651    %  
652    %  
653    %  
654    %  
655    %  
656    %  
657    %  
658    %  
659    %  
660    %  
661    %  
662    %  
663    %  
664    %  
665    %  
666    %  
667    %  
668    %  
669    %  
670    %  
671    %  
672    %  
673    %  
674    %  
675    %  
676    %  
677    %  
678    %  
679    %  
680    %  
681    %  
682    %  
683    %  
684    %  
685    %  
686    %  
687    %  
688    %  
689    %  
690    %  
691    %  
692    %  
693    %  
694    %  
695    %  
696    %  
697    %  
698    %  
699    %  
700    %  
701    %  
702    %  
703    %  
704    %  
705    %  
706    %  
707    %  
708    %  
709    %  
710    %  
711    %  
712    %  
713    %  
714    %  
715    %  
716    %  
717    %  
718    %  
719    %  
720    %  
721    %  
722    %  
723    %  
724    %  
725    %  
726    %  
727    %  
728    %  
729    %  
730    %  
731    %  
732    %  
733    %  
734    %  
735    %  
736    %  
737    %  
738    %  
739    %  
740    %  
741    %  
742    %  
743    %  
744    %  
745    %  
746    %  
747    %  
748    %  
749    %  
750    %  
751    %  
752    %  
753    %  
754    %  
755    %  
756    %  
757    %  
758    %  
759    %  
760    %  
761    %  
762    %  
763    %  
764    %  
765    %  
766    %  
767    %  
768    %  
769    %  
770    %  
771    %  
772    %  
773    %  
774    %  
775    %  
776    %  
777    %  
778    %  
779    %  
780    %  
781    %  
782    %  
783    %  
784    %  
785    %  
786    %  
787    %  
788    %  
789    %  
790    %  
791    %  
792    %  
793    %  
794    %  
795    %  
796    %  
797    %  
798    %  
799    %  
800    %  
801    %  
802    %  
803    %  
804    %  
805    %  
806    %  
807    %  
808    %  
809    %  
810    %  
811    %  
812    %  
813    %  
814    %  
815    %  
816    %  
817    %  
818    %  
819    %  
820    %  
821    %  
822    %  
823    %  
824    %  
825    %  
826    %  
827    %  
828    %  
829    %  
830    %  
831    %  
832    %  
833    %  
834    %  
835    %  
836    %  
837    %  
838    %  
839    %  
840    %  
841    %  
842    %  
843    %  
844    %  
845    %  
846    %  
847    %  
848    %  
849    %  
850    %  
851    %  
852    %  
853    %  
854    %  
855    %  
856    %  
857    %  
858    %  
859    %  
860    %  
861    %  
862    %  
863    %  
864    %  
865    %  
866    %  
867    %  
868    %  
869    %  
870    %  
871    %  
872    %  
873    %  
874    %  
875    %  
876    %  
877    %  
878    %  
879    %  
880    %  
881    %  
882    %  
883    %  
884    %  
885    %  
886    %  
887    %  
888    %  
889    %  
890    %  
891    %  
892    %  
893    %  
894    %  
895    %  
896    %  
897    %  
898    %  
899    %  
900    %  
901    %  
902    %  
903    %  
904    %  
905    %  
906    %  
907    %  
908    %  
909    %  
910    %  
911    %  
912    %  
913    %  
914    %  
915    %  
916    %  
917    %  
918    %  
919    %  
920    %  
921    %  
922    %  
923    %  
924    %  
925    %  
926    %  
927    %  
928    %  
929    %  
930    %  
931    %  
932    %  
933    %  
934    %  
935    %  
936    %  
937    %  
938    %  
939    %  
940    %  
941    %  
942    %  
943    %  
944    %  
945    %  
946    %  
947    %  
948    %  
949    %  
950    %  
951    %  
952    %  
953    %  
954    %  
955    %  
956    %  
957    %  
958    %  
959    %  
960    %  
961    %  
962    %  
963    %  
964    %  
965    %  
966    %  
967    %  
968    %  
969    %  
970    %  
971    %  
972    %  
973    %  
974    %  
975    %  
976    %  
977    %  
978    %  
979    %  
980    %  
981    %  
982    %  
983    %  
984    %  
985    %  
986    %  
987    %  
988    %  
989    %  
990    %  
991    %  
992    %  
993    %  
994    %  
995    %  
996    %  
997    %  
998    %  
999    %  
1000    %  
1001    %  
1002    %  
1003    %  
1004    %  
1005    %  
1006    %  
1007    %  
1008    %  
1009    %  
1010    %  
1011    %  
1012    %  
1013    %  
1014    %  
1015    %  
1016    %  
1017    %  
1018    %  
1019    %  
1020    %  
1021    %  
1022    %  
1023    %  
1024    %  
1025    %  
1026    %  
1027    %  
1028    %  
1029    %  
1030    %  
1031    %  
1032    %  
1033    %  
1034    %  
1035    %  
1036    %  
1037    %  
1038    %  
1039    %  
1040    %  
1041    %  
1042    %  
1043    %  
1044    %  
1045    %  
1046    %  
1047    %  
1048    %  
1049    %  
1050    %  
1051    %  
1052    %  
1053    %  
1054    %  
1055    %  
1056    %  
1057    %  
1058    %  
1059    %  
1060    %  
1061    %  
1062    %  
1063    %  
1064    %  
1065    %  
1066    %  
1067    %  
1068    %  
1069    %  
1070    %  
1071    %  
1072    %  
1073    %  
1074    %  
1075    %  
1076    %  
1077    %  
1078    %  
1079    %  
1080    %  
1081    %  
1082    %  
1083    %  
1084    %  
1085    %  
1086    %  
1087    %  
1088    %  
1089    %  
1090    %  
1091    %  
1092    %  
1093    %  
1094    %  
1095    %  
1096    %  
1097    %  
1098    %  
1099    %  
1100    %  
1101    %  
1102    %  
1103    %  
1104    %  
1105    %  
1106    %  
1107    %  
1108    %  
1109    %  
1110    %  
1111    %  
1112    %  
1113    %  
1114    %  
1115    %  
1116    %  
1117    %  
1118    %  
1119    %  
1120    %  
1121    %  
1122    %  
1123    %  
1124    %  
1125    %  
1126    %  
1127    %  
1128    %  
1129    %  
1130    %  
1131    %  
1132    %  
1133    %  
1134    %  
1135    %  
1136    %  
1137    %  
1138    %  
1139    %  
1140    %  
1141    %  
1142    %  
1143    %  
1144    %  
1145    %  
1146    %  
1147    %  
1148    %  
1149    %  
1150    %  
1151    %  
1152    %  
1153    %  
1154    %  
1155    %  
1156    %  
1157    %  
1158    %  
1159    %  
1160    %  
1161    %  
1162    %  
1163    %  
1164    %  
1165    %  
1166    %  
1167    %  
1168    %  
1169    %  
1170    %  
1171    %  
1172    %  
1173    %  
1174    %  
1175    %  
1176    %  
1177    %  
1178    %  
1179    %  
1180    %  
1181    %  
1182    %  
1183    %  
1184    %  
1185    %  
1186    %  
1187    %  
1188    %  
1189    %  
1190    %  
1191    %  
1192    %  
1193    %  
1194    %  
1195    %  
1196    %  
1197    %  
1198    %  
1199    %  
1200    %  
1201    %  
1202    %  
1203    %  
1204    %  
1205    %  
1206    %  
1207    %  
1208    %  
1209    %  
1210    %  
1211    %  
1212    %  
1213    %  
1214    %  
1215    %  
1216    %  
1217    %  
1218    %  
1219    %  
1220    %  
1221    %  
1222    %  
1223    %  
1224    %  
1225    %  
1226    %  
1227    %  
1228    %  
1229    %  
1230    %  
1231    %  
1232    %  
1233    %  
1234    %  
1235    %  
1236    %  
1237    %  
1238    %  
1239    %  
1240    %  
1241    %  
1242    %  
1243    %  
1244    %  
1245    %  
1246    %  
1247    %  
1248    %  
1249    %  
1250    %  
1251    %  
1252    %  
1253    %  
1254    %  
1255    %  
1256    %  
1257    %  
1258    %  
1259    %  
1260    %  
1261    %  
1262    %  
1263    %  
1264    %  
1265    %  
1266    %  
1267    %  
1268    %  
1269    %  
1270    %  
1271    %  
1272    %  
1273    %  
1274    %  
1275    %  
1276    %  
1277    %  
1278    %  
1279    %  
1280    %  
1281    %  
1282    %  
1283    %  
1284    %  
1285    %  
1286    %  
1287    %  
1288    %  
1289    %  
1290    %  
1291    %  
1292    %  
1293    %  
1294    %  
1295    %  
1296    %  
1297    %  
1298    %  
1299    %  
1300    %  
1301    %  
1302    %  
1303    %  
1304    %  
1305    %  
1306    %  
1307    %  
1308    %  
1309    %  
1310    %  
1311    %  
1312    %  
1313    %  
1314    %  
1315    %  
1316    %  
1317    %  
1318    %  
1319    %  
1320    %  
1321    %  
1322    %  
1323    %  
1324    %  
1325    %  
1326    %  
1327    %  
1328    %  
1329    %  
1330    %  
1331    %  
1332    %  
1333    %  
1334    %  
1335    %  
1336    %  
1337    %  
1338    %  
1339    %  
1340    %  
1341    %  
1342    %  
1343    %  
1344    %  
1345    %  
1346    %  
1347    %  
1348    %  
1349    %  
1350    %  
1351    %  
1352    %  
1353    %  
1354    %  
1355    %  
1356    %  
1357    %  
1358    %  
1359    %  
1360    %  
1361    %  
1362    %  
1363    %  
1364    %  
1365    %  
1366    %  
1367    %  
1368    %  
1369    %  
1370    %  
1371    %  
1372    %  
1373    %  
1374    %  
1375    %  
1376    %  
1377    %  
1378    %  
1379    %  
1380    %  
1381    %  
1382    %  
1383    %  
1384    %  
1385    %  
1386    %  
1387    %  
1388    %  
1389    %  
1390    %  
1391    %  
1392    %  
1393    %  
1394    %  
1395    %  
1396    %  
1397    %  
1398    %  
1399    %  
1400    %  
1401    %  
1402    %  
1403    %  
1404    %  
1405    %  
1406    %  
1407    %  
1408    %  
1409    %  
1410    %  
1411    %  
1412    %  
1413    %  
1414    %  
1415    %  
1416    %  
1417    %  
1418    %  
1419    %  
1420    %  
1421    %  
1422    %  
1423    %  
1424    %  
1425    %  
1426    %  
1427    %  
1428    %  
1429    %  
1430    %  
1431    %  
1432    %  
1433    %  
1434    %  
1435    %  
1436    %  
1437    %  
1438    %  
1439    %  
1440    %  
1441    %  
1442    %  
1443    %  
1444    %  
1445    %  
1446    %  
1447    %  
1448    %  
1449    %  
1450    %  
1451    %  
1452    %  
1453    %  
1454    %  
1455    %  
1456    %  
1457    %  
1458    %  
1459    %  
1460    %  
1461    %  
1462    %  
1463    %  
1464    %
```

# Stateflow provided a concise way to create and review a complex state machine in the One-Pedal Driving software



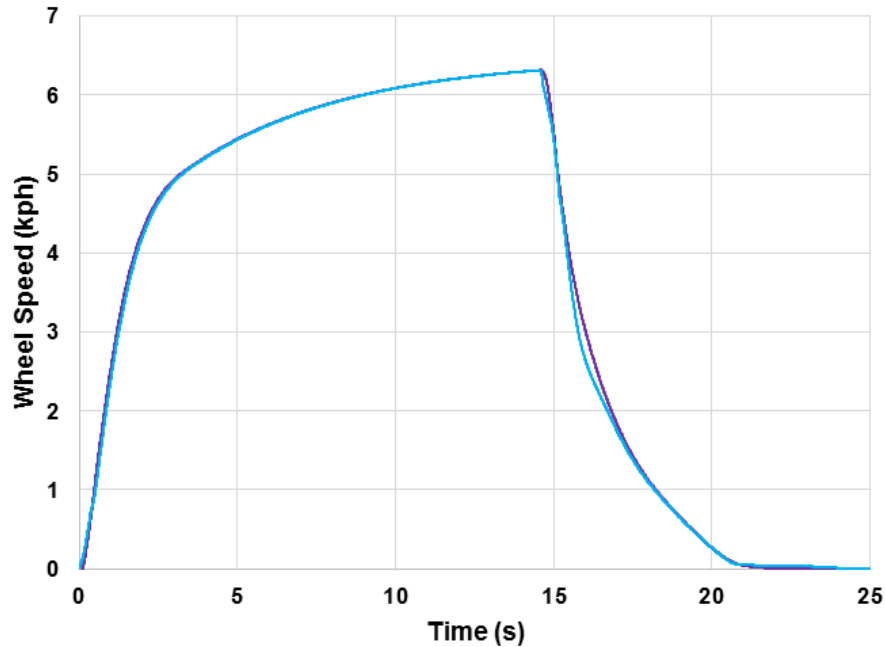
# Simulink enables quick iteration because software can be created, tested, and modified all in the same environment





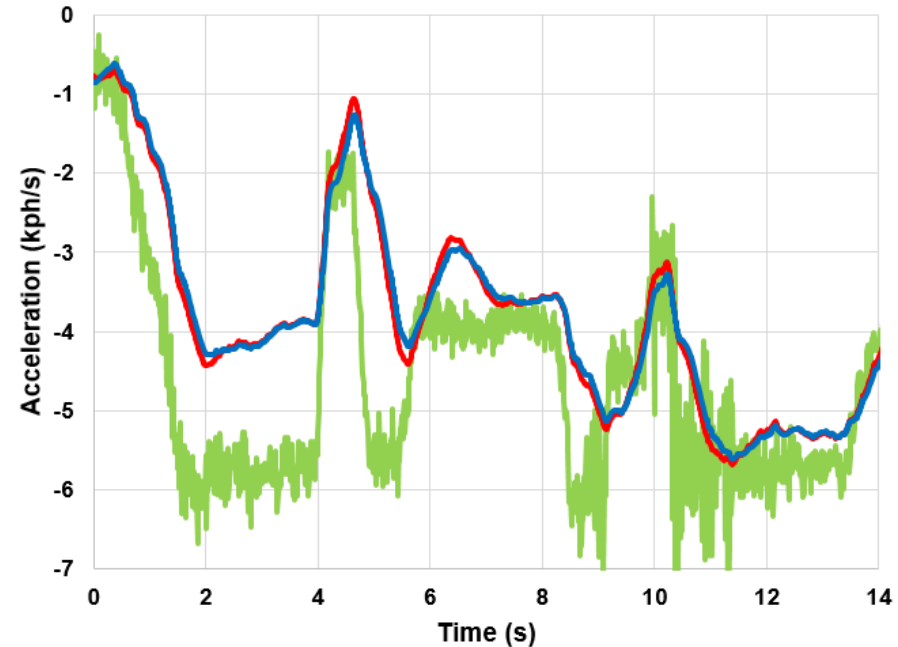
# Simulink provides powerful support for control system development

## Predict vehicle performance



— Desired Speed    — Simulated Speed

## Tune calibrations with real-world data



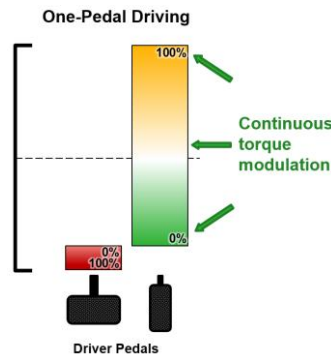
— Vehicle Accelerometer    — Modified Filter    — Baseline Filter

# In summary, One-Pedal Driving is a superior driving experience, rapidly brought to market with the development capability of Simulink



1. **One-Pedal Driving lets most Bolt EV driving be performed without switching pedals**

2. **One-Pedal Driving provides better driveability and increases regeneration to improve range**



3. **Simulink enables rapid control algorithm creation through two coordinated avenues:**

- iii. **For algorithm creation, review, and testing**
- iv. **As a tool to support control system development**

