

Metode inteligentnog upravljanja u električnim vozilima – dio 1

Istraživanje i razvoj baterija, upravljanje baterijom,
procjena dometa električnog vozila

Nataša Popović, PhD

1. Uvod

- ✓ Sa sve većom sviješću o klimatskim promjenama i iscrpljivanju fosilnih goriva, raste potražnja za ekološki prihvatljivim opcijama transporta. Električna vozila (EV) predstavljaju ključnog igrača u ovoj pozitivnoj promjeni, koristeći električnu energiju umjesto tradicionalnih goriva. Sa nultom emisijom štetnih gasova, električna vozila nude „čišću“ alternativu u poređenju sa konvencionalnim automobilima.
- ✓ Međutim, uprkos pozitivnim izgledima za integraciju EV-a u društvo, električna vozila se i dalje suočavaju sa izazovima u pogledu njihove široke primjene. Ovi izazovi uključuju ograničen domet EV-a i povezanu anksioznost korisnika zbog toga, nedostatak infrastrukture za punjenje, visoke početne troškove EV-a u poređenju sa tradicionalnim vozilima, kao i zabrinutosti vezanu za sigurnost.
- ✓ Zbog toga je potrebno razviti nove tehnike i predložiti nove strategije kako bi se prevazišli ovi izazovi.

1. Uvod

- ✓ Vještačka inteligencija, koja se definiše kao algoritmi koji podržavaju modele usmjerene na imitaciju prirodnog mišljenja, percepcije i akcije, našla je primjenu u industriji i nauci u oblasti električnih vozila i povezane infrastrukture, kao što su:
 - projektovanje i upravljanje baterijama EV-a,
 - stanice za punjenje,
 - pametne elektroenergetske mrež.
- ✓ Algoritmi koji se obično koriste u EV-ima su:
 - mašinsko učenje,
 - računarska inteligencija.
- ✓ U zavisnosti od problema, ovi algoritmi mogu biti efikasniji od klasičnih zasnovanih na pravilima (poznatih i kao ekspertske sistemi), koji koriste ljudsko znanje da definišu pravila unutar sistema.

1. Uvod

✓ Nekoliko prednosti primjene veštačke inteligencije uključuju:

- smanjenje troškova EV-a kroz optimalno projektovanje i proizvodnju materijala za izradu baterija,
- precizno procenjivanje dometa kako bi se smanjila anksioznost korisnika EV-a,
- predikcija budućih uslova vožnje,
- poboljšana energetska efikasnost EV-a u poređenju sa tradicionalnim vozilima ostvaena korišćenjem vještačke inteligencije u pomoćnim sistemima EV-a,
- potencijal za povećanje bezbjednosti na putu i optimalan protok saobraćaja,
- temeljit i efikasan pristup modelovanju za pronalaženje optimalne lokacije i raspodjele resursa za stanice za punjenje električnih vozila (EVCS) i raspodjele energije za interakciju EV-a sa pametnom mrežom.

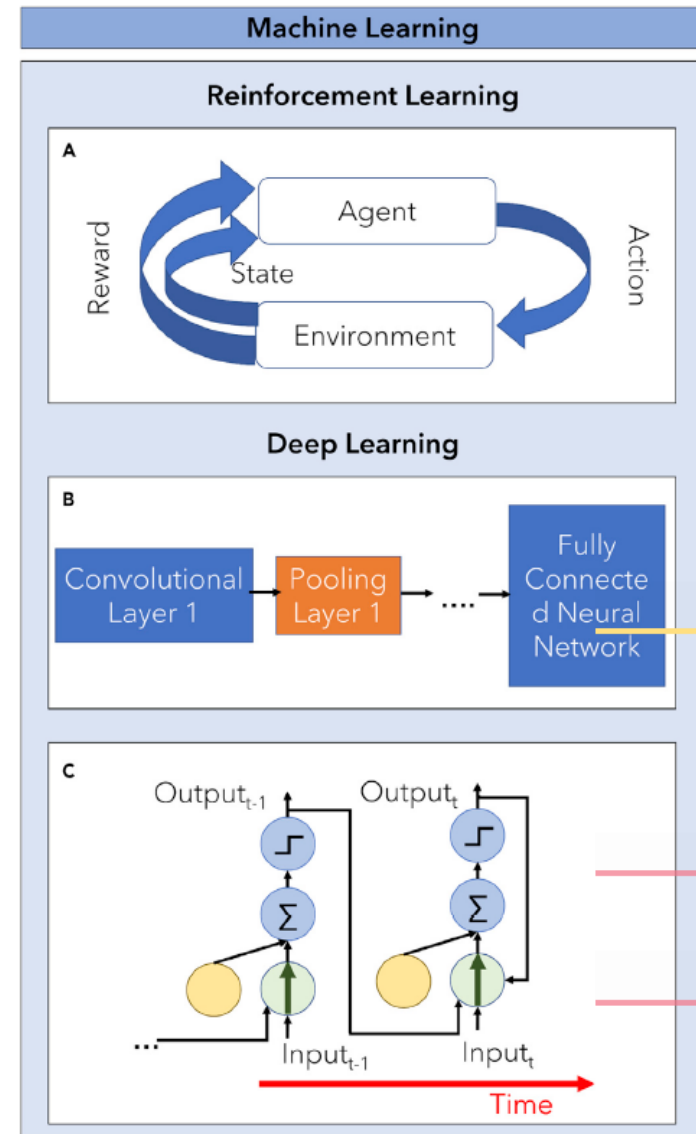
2. Tehnike vještačke inteligencije u električnim vozilima

Mašinsko učenje

- ✓ Modeli mašinskog učenja pronalaze veze i trendove između ulaza i izlaza na osnovu prethodnih posmatranja, i zahtijevaju obučavanje na prethodnom skupu podataka. Algoritmi koji se koriste u EV i povezanim infrastrukturnim sistemima mogu se grubo klasifikovati u:
 - Nadgledano učenje,
 - Nenadgledano učenje,
 - Učenje podsticajem.
- ✓ Nadgledano i nenadgledano učenje su primijenjeni u oblastima EV-a i njegove infrastrukture gde su dostupni ili mogu biti kreirani veliki skupovi podataka, kao što su procjena stanja baterije i otkrivanje novih materijala za izradu baterija.
- ✓ Osnovni koncepti ovih metoda su duboko učenje, koje koristi arhitekture koje uključuju višeslojne neuronske mreže. Takođe, učenje podsticajem podrazumeva da agent uči najbolji tok akcija samostalno kroz pokušaje i pogreške, pri čemu agent interaguje sa svojim okruženjem putem akcija i biva nagrađen u skladu sa tim.
- ✓ Ukratko, mašinsko učenje omogućava EV-ima i njihovoj infrastrukturi da se adaptiraju i unaprijede na temelju stvarnih podataka i iskustava, čime se optimizuje njihov rad i performanse.

2. Tehnike vještačke inteligencije u električnim vozilima

- ✓ Tok procesa za učenje podsticajem: Agent interaguje sa okruženjem i dobija nagradu u skladu sa svojom akcijom. Kroz iterativno učenje, agent uči i usvaja politiku koja ima za cilj da maksimizuje svoju nagradu.
- ✓ Duboko učenje: CNN (konvolucione neuronske mreže), se često koriste za obradu slika. Konvolucioni slojevi filtriraju sliku na osnovu visokih nivoa karakteristika slike, dok sloj pooling kompresuje sliku kako bi smanjio njenu veličinu radi lakšeg rukovanja.
- ✓ Rekurentna neuronska mreža, koja se često koristi za analizu vremenskih serija, koristi izlaz neuronske mreže u trenutku ($t-1$) kao ulaz za trenutni vremenski trenutak t . Slika prikazuje jednu rekurentnu neuronsku mrežu.



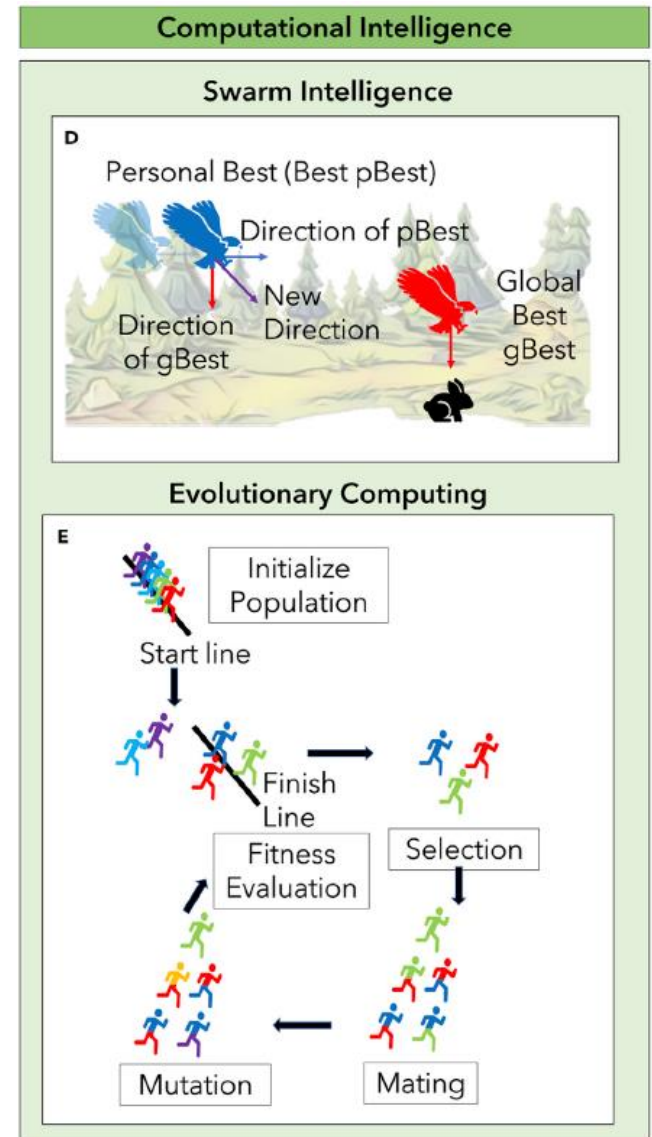
2. Tehnike vještačke inteligencije u električnim vozilima

Računarska inteligencija

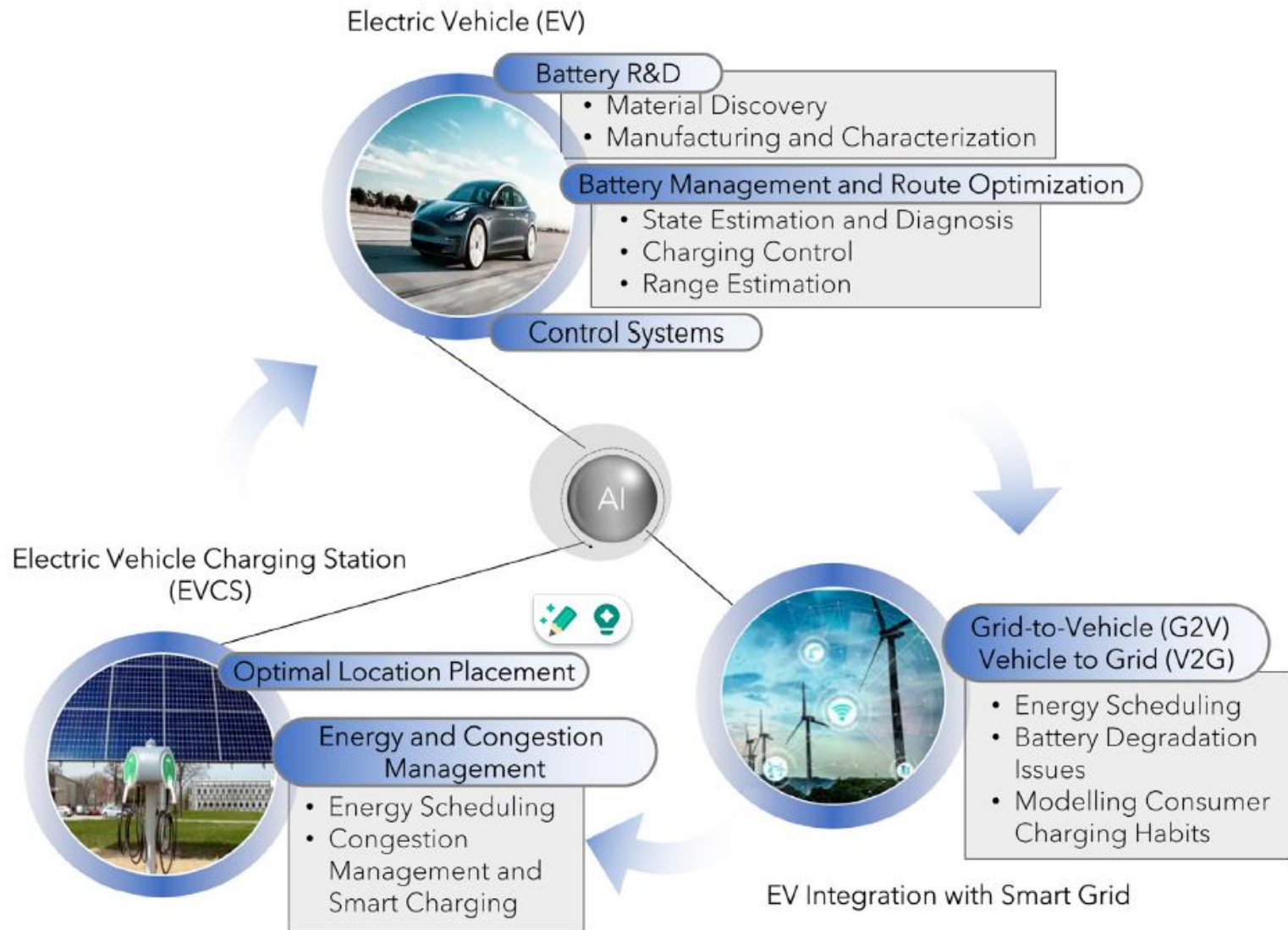
- ✓ Algoritmi računarske inteligencije se često koriste za rješavanje problema pretrage, optimizacije i drugih složenih problema.
- ✓ Algoritmi koji se koriste u EV i povezanim infrastrukturnim sistemima mogu se grubo klasifikovati u:
 - inteligenciju roja,
 - genetske algoritme.
- ✓ U kontekstu EV-a, algoritmi su ključni za rješavanje složenih, dinamičnih problema optimizacije, kao što su:
 - optimizacija sistema upravljanja EV,
 - optimalno postavljanje stanica za punjenje EV (EVCS),
 - integracija infrastrukture EV sa pametnom mrežom.

2. Tehnike vještačke inteligencije u električnim vozilima

- ✓ Tok procesa inteligencije roja čestica: Često se koristi za probleme pretrage i optimizacije, gdje se koriste jato čestica koje pretražuju prostor rešenja. Čestice komuniciraju kako bi podijelile svoje lično najbolje rešenje (personal best) i globalno najbolje rešenje (global best) kako bi pronašle optimalno rešenje.
- ✓ Tok procesa genetskog algoritma: algoritam počinje sa inicijalnom populacijom rješenja. Tokom svakog iterativnog procesa, populacija prolazi kroz operacije mutacije i ukrštanja (crossover) kako bi se našlo optimalno rješenje.



2. Tehnike vještačke inteligencije u električnim vozilima



3. Mašinsko učenje u istraživanju i razvoju baterija

- ✓ Ograničenja u projektovanju i proizvodnji baterija dovode do niže energetske gustine baterijskog paketa, što rezultuje povećanim troškovima.
- ✓ Kako bi se postigla veća energetska efikasnost, poboljšala percepcija potrošača, bezbjednost i ekonomska održivost, koriste se tehnike mašinskog učenja.
- ✓ Primjene:
 - otkrivanje i karakterizacija materijala za izradu baterije,
 - istraživanje novih materijala sa višom energetsom gustinom i bezbjednijim elektrodama baterija, čvrstih elektrolita i aditiva za elektrolite,
 - za složene molekularne interakcije, reakcione puteve i minimizaciju sporednih reakcija,
 - za predviđanje svojstava novih materijala na osnovu drugih poznatih,
 - elektrokemijska impedansna spektroskopija, testiranje ciklusa životnog veka i tomografija,
 - za predviđanje mase elektrode na osnovu kontrolnih parametara uključenih u miješanje suspenzije (sadržaj mase, odnos čvrstih i tečnih materijala, i viskoznost suspenzije) i nanošenja na supstrat,
 - za predviđanje specifičnog otpora pri punjenju/pražnjenju na osnovu karakteristika poroznosti elektrode (poroznost, veličina čestica aktivnog materijala i zapremina frakcije, i pritisak u procesu kompaktovanja), provodljivost elektrolita i zapremina frakcija veziva/aditiva.

4. Mašinsko učenje u upravljanju baterijom

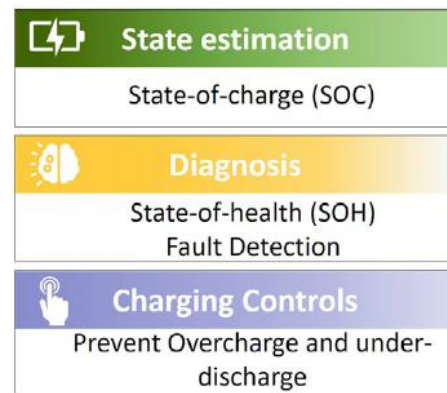
- ✓ Sistem za upravljanje baterijama (BMS) odgovoran je za nadgledanje baterijskog paketa, procjenu stanja baterije, dijagnostiku i obezbjeđuje energetske efikasnu kontrolu baterijskog paketa EV-a.
- ✓ Procjena stanja zasnovana na mašinskom učenju može se koristiti u EV zbog nižih računarskih zahtjeva, tačnosti i nepotrebnosti za opsežnim matematičkim modelima.
- ✓ Primjene:
 - stanje napunjenosti baterije (SOC),
 - stanje zdravlja baterije (SOH),
 - detekcija grešaka u bateriji (prepunjenost, pražnjenje, ekstremna izloženost temperaturama, neispravne spoljne konekcije, i mehanička oštećenja),
 - opšta regresiona neuronska mreža koristi se za detekciju grešaka sa visokom tačnošću (>95%),
 - kako bi se pronašle tendencije između uzroka i posljedica greške u bateriji koristeći skupove podataka iz eksperimenata i fizičkih modela.

4. Mašinsko učenje u upravljanju baterijom

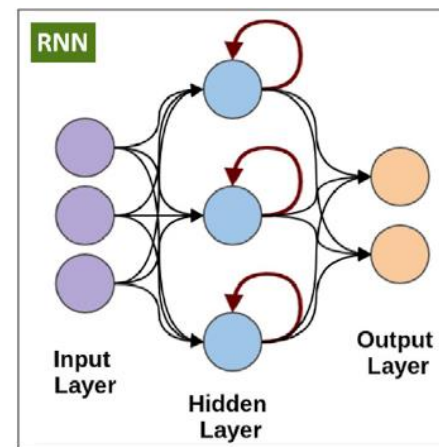
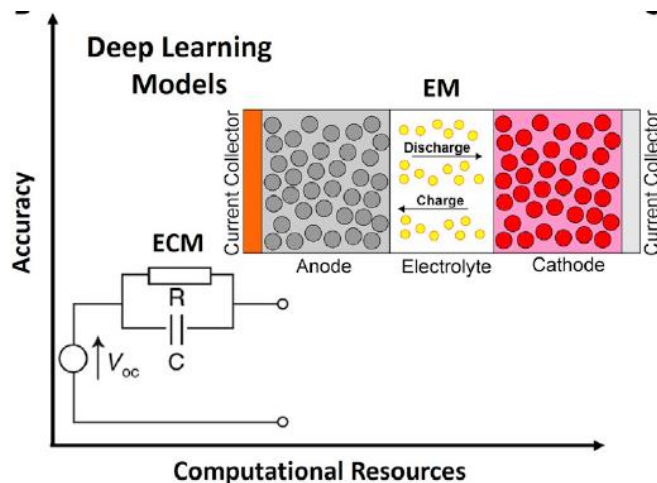
- ✓ Informacije ulaznih podataka sa senzora baterijskog paketa za sistem za upravljanje baterijom: Sistem za upravljanje baterijom prikuplja vremenske serije podataka, koje se sastoje od napona paketa, struje paketa, napona pojedinačnih ćelija i temperatura sa temperaturnih sonde.



Pack Voltage
Pack Current
Cell Voltages
Temperatures

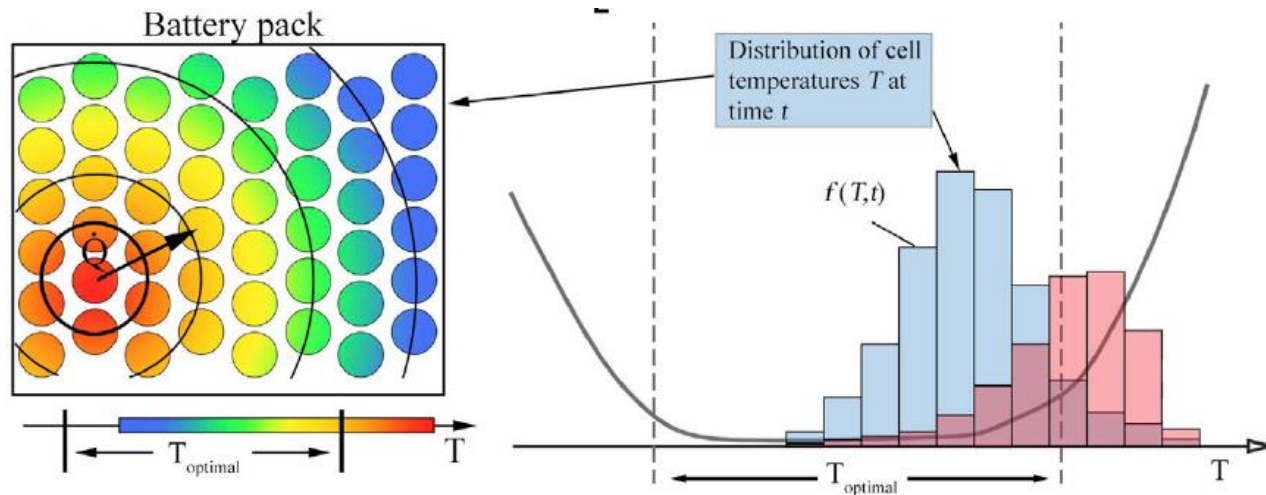


- ✓ Tačnost u odnosu na računarske resurse potrebne za procjenu SOC i SOH: Kada se mjeri SOC i SOH, modeli zasnovani na podacima, podržani dubokim učenjem, pokazuju veću tačnost u poređenju sa ECM modelima, uz znatno niže računarske zahtjeve u poređenju sa fizičkim modelima.



4. Mašinsko učenje u upravljanju baterijom

- ✓ Temperaturni profil baterijskih ćelija u baterijskom paketu: Temperaturni profil baterija može se vizualizovati kao histogram. Varijacije temperature mogu se trenirati korišćenjem rekurentnih neuronskih mreža za predviđanje budućih temperaturnih vrijednosti, koje se zatim mogu uporediti sa stvarnim vrijednostima kako bi se otkrile anomalije..



5. Mašinsko učenje u optimizaciji dometa

Table 2. Representative research of machine learning (ML) in EV range estimation (RE)

Approach	Parameters	ML algorithm	RE accuracy
Historical data	battery SOC voltage (min, max) current (min, max) temperature (min, max) vehicle	significant parameter identification using correlation analysis followed by multiple linear regression (MLR)	1.63 km (MAE) ¹⁰⁶
	speed (avg) external temperature	classification and regression tree (CART)	1.27 km (MAE) ⁹⁸
	visibility precipitation	gradient boosting decision tree (GBDT)	0.82 km (MAE) ⁹⁸
	battery SOC SOH vehicle auxiliary load weight external road type traffic temperature driving behavior	artificial neural networks (ANN)	2.2% (MSE) accuracy for a 50.4 km real-life EV trip ¹⁰³
Predicting future energy/power consumption	Vehicle speed	linear regression (LR)	2.18 km (MAE) ¹⁰⁵
	recent energy consumption	support vector regression (SVR)	1.95 km (MAE) ¹⁰⁵
	external road elevation		
	vehicle	MLR	1.95 km (MAE) ¹⁰⁴
	speed	principal component regression (PCR)	2.07 km (MAE) ¹⁰⁴
	acceleration		
	past power consumption	clustering of data using self-organizing maps (	0.70 km (MAE) ¹⁰⁴
	past distance	SOM) followed by	
	past trip run time	regression tree	
	temperature		
	weight of loads		
	tire pressure		
	frontal area		
	external road elevation		

Abbreviations are as follows: MAE, mean absolute error; MSE, mean-squared error.