

# Upotreba Monte Karlo simulacije u potrazi za nestalim letom MH370

## 1. Opis problema

Problem lociranja nestalih letelica, poput leta MH370, jedan je od najsloženijih izazova u modernom vremenu, gde se prepliću nesigurnost podataka, ograničenja tehnologije i ogromne oblasti pretrage. Let MH370, koji je nestao 8. marta 2014. godine tokom leta iz Kuala Lumpura za Peking, ostavio je za sobom veoma malo tragova, što dodatno komplikuje traganje za tačnom lokacijom letelice.

Jedan od osnovnih problema u lociranju MH370 jeste ograničenost dostupnih podataka. Poslednja komunikacija letelice sa satelitima, poznata kao "pingovi," pruža samo približnu informaciju o udaljenosti letelice od satelita u trenutku poslednje transmisije. Ovi pingovi ne sadrže tačne podatke o poziciji letelice, već samo informacije o potencijalnim lokacijama na kružnim lukovima, poznatim kao "ping prstenovi."

Nadalje, nedostatak direktnih radarskih podataka i činjenica da je letelica skrenula sa planirane rute dodaje još složenosti. Podaci o poslednjim poznatim parametrima leta, poput brzine, kursa i visine, često su nepotpuni ili podložni interpretaciji.

Područje pretrage za MH370 obuhvata ogroman deo južnog Indijskog okeana, jedne od najizolovanijih i najmanje istraženih oblasti na planeti. Ovo područje karakterišu duboki okeanski rovovi, podvodne planine i promenljive okeanske struje, što čini potragu ne samo tehnički zahtevnom već i logistički složenom.

Drugi važan aspekt problema su okeanske struje i vremenski uslovi. Ostaci letelice, čak i ako su locirani, mogu biti nošeni hiljadama kilometara daleko od mesta pada usled dinamičkog ponašanja okeana. Modelovanje kretanja ostataka u ovakvim uslovima zahteva kombinaciju hidrodinamičkih simulacija i meteoroloških podataka.

Tradicionalne metode pretrage oslanjaju se na sonare, podvodne dronove i satelitske snimke. Međutim, s obzirom na ograničene resurse i vreme, potrebno je uvesti napredne matematičke modele kako bi se optimizovalo područje pretrage.

Monte Karlo simulacija, koja koristi nasumično generisane scenarije da bi se identifikovale najverovatnije oblasti, može igrati ključnu ulogu u rešavanju ovog problema. Ovaj pristup omogućava analizu širokog spektra mogućih putanja leta na osnovu dostupnih podataka i njihovo mapiranje na područje pretrage.

## 2. Skup podataka

Monte Karlo simulacija za lociranje MH370 zahteva pažljiv izbor i pripremu skupova podataka koji omogućavaju modeliranje mogućih putanja letelice i njenog mesta pada. Skupovi podataka na kojima će se zasnivati simulacija su:

- Satelitski podaci o komunikaciji (Inmarsat pingovi) – pružaju informacije o udaljenosti letelice od satelita u obliku kružnih lukova na površini Zemlje, poznatih kao "ping prstenovi."
- Podaci o letu (Flight Data Recorder i istorijski podaci) – Informacije o poslednjoj poznatoj brzini, visini, kursu, i potrošnji goriva.
- Podaci o okeanskim strujama i vremenskim uslovima – Modeli okeanskih struja, talasa i vetrova u južnom Indijskom okeanu u relevantnom vremenskom periodu.
- Radarski podaci – Poslednje poznate pozicije letelice prema vojnim i civilnim radarima.
- Informacije o području pretrage – Topografija morskog dna i podaci o prethodnim potragama u južnom Indijskom okeanu.

Monte Karlo simulacija će koristiti nasumično generisane scenarije leta na osnovu gore navedenih podataka kako bi modelirala moguće lokacije letelice. Svaki simulirani scenario će se procenjivati na osnovu verovatnoće i konzistentnosti sa dostupnim podacima, a rezultati će se koristiti za identifikaciju najverovatnijih oblasti pretrage. Dobro integrisani podaci ključni su za uspeh simulacije, jer omogućavaju smanjenje nesigurnosti i usmeravanje pretrage na najvažnije lokacije.

## 3. Metodologija

Prvi korak u implementaciji Monte Karlo simulacije za lociranje nestale letelice MH370 je priprema podataka. Analiziraćemo i integrisati dostupne izvore informacija, uključujući satelitske pingove, podatke o letu, okeanske struje, vremenske uslove i prethodno sprovedene pretrage. Nedostajuće vrednosti u podacima popunićemo korišćenjem metoda interpolacije i pažljivim analizama kako bismo osigurali konzistentnost podataka. Nakon pripreme podataka, simulaciju ćemo podeliti u nekoliko faza.

Generisanje putanja leta – Korišćemo nasumično generisane scenarije leta na osnovu početnih uslova (poslednja poznata brzina, visina, kurs i potrošnja goriva). Za svaku simuliranu putanju proverićemo njenu konzistentnost sa dostupnim podacima o ping prstenovima. Scenariji koji nisu u skladu sa satelitskim podacima biće odbačeni.

Simulacija ponašanja ostataka letelice – Nakon modeliranja mogućih mesta pada letelice, simuliraćemo kretanje ostataka pomoću modela okeanskih struja i vremenskih uslova. Za simulaciju driftovanja ostataka koristićemo Monte Karlo pristup kako bismo analizirali moguće lokacije pronalaska ostataka.

Verifikacija scenarija sa poznatim podacima – Validiraćemo rezultate simulacije poređenjem predikcija kretanja ostataka sa mestima gde su pronađeni delovi aviona (npr. Madagaskar).

Vizualizacija rezultata – Rezultati simulacije biće predstavljeni kroz heatmap vizualizacije koje prikazuju gustinu verovatnoće za različite oblasti. Biće korišćene biblioteke poput matplotlib i seaborn za generisanje grafika.

Koristeći rezultate Monte Karlo simulacija, identifikovaćemo oblasti s najvećom gustinom verovatnoće kao najvažnije mete za pretragu.

## 4. Način evaluacije

Evaluacija tačnosti i pouzdanosti Monte Karlo simulacije za lociranje letelice MH370 biće sprovedena kroz upoređivanje simuliranih rezultata sa stvarnim lokacijama pronađenih ostataka aviona, kao i korišćenjem kvantitativnih metrika. Glavni cilj je procena konzistentnosti i preciznosti simulacije u odnosu na dostupne podatke.

Rezultati Monte Karlo simulacije biće upoređeni sa koordinatama delova aviona pronađenih na obalama, poput Madagaskara i Reuniona. Kvantifikacija grešaka će biti sprovedena pomoću dve glavne metrike:

- RMSE (Root Mean Square Error), koja meri prosečnu kvadratnu razliku između simuliranih i stvarnih lokacija. Manja vrednost RMSE ukazuje na veću preciznost modela.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2)}$$

Gde su:

$x_i, y_i$  – simulirane koordinate tačke,  
 $\hat{x}_i, \hat{y}_i$  – stvarne koordinate pronađenih ostataka,  
 $N$  – ukupan broj tačaka za poređenje.

- MAE (Mean Absolute Error), koja pruža uvid u prosečnu apsolutnu grešku između simuliranih i stvarnih tačaka. Ova metrika daje intuitivniji prikaz prosečnog odstupanja.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2)}$$

Gde su oznake iste kao kod RMSE.

Primena ovih matematičkih metoda osiguraće objektivnu procenu tačnosti Monte Karlo simulacije u potrazi za nestalom letelicom MH370.

## 5. Tehnologija u izradi

Prilikom razvoja Monte Karlo simulacije za lociranje nestale letelice MH370 koristićemo programski jezik Python (verzija 3.12). A od biblioteka koristićemo Numpy, Matplotlib, Seaborn i Pandas.

## 6. Literatura

- [https://github.com/myhrvold/MH370\\_MCMC](https://github.com/myhrvold/MH370_MCMC)
- <http://www.fastcolabs.com/3028265/how-i-narrowed-down-the-location-of-malaysia-air-using-monte-carlo-data-models>
- <http://www.fastcolabs.com/3028331/more-about-our-methodology-tracking-mh370-with-monte-carlo-data-models>
- <http://www.fastcolabs.com/3028569/this-data-model-shows-mh370-could-not-have-flown-accidentally-to-its-destination>
- <http://www.fastcolabs.com/3028847/with-new-information-our-data-models-point-to-foul-play-on-malaysia-air-flight-370>
- <http://www.fastcolabs.com/3029199/as-black-box-pings-go-silent-heres-how-data-can-narrow-the-search-for-malaysia-air-flight-37>