

Ionnyaláb 3D vezérlése gépi tanulással

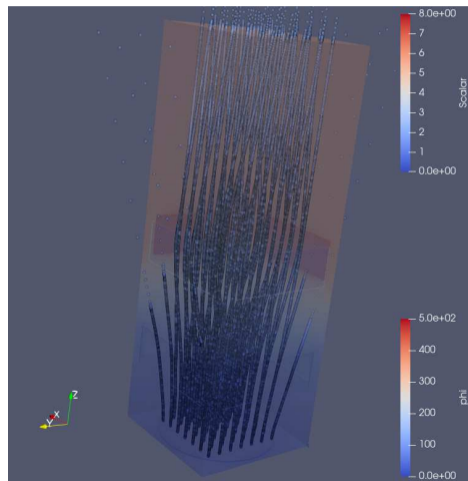
Makara Árpád, Reichardt András, Csurgai-Horváth László
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, BME

Reichardt, András

2021. szeptember 30.

Miről lesz szó?

- 1 Meghajtó rendszerek - hajtóművek
- 2 Fizikai modell - megoldás
- 3 Nyalábformálás - optimalizálási probléma
- 4 Következő lépések



Miért kezdtünk bele?

Személyes motivációk :

- ▶ TDK munkaként kezdődött (Makara Á., témavezető : Reichardt A.) TDK 1.díj
- ▶ gépi tanulás (mesterséges intelligencia) nagyon keresett kulcsszó
- ▶ doktori képzésen folytatódó kutatási irány (Makara Á., témavezető : Csurgai-Horváth László)

Szakmai motivációk :

- ▶ nagyméretű űreszközöknél robotusztus hajtás, nagyenergiás
- ▶ kisméretű műholdak (pl. CubeSat méretben) pályakorrekciós meghajtás
- ▶ ionhajtómű modellezés közel áll a részecske alapú plazmafizikai modellekhez
- ▶ egyszerű modelltől (kvázi elektrosztatika) a bonyolult modellekig (csatolt elektromágneses térproblémák) sokféle érdekes jelenséget tartalmaz

- 1 Meghajtó rendszerek - hajtóművek
- 2 Fizikai modell - megoldás
- 3 Nyalábformálás - optimalizálási probléma
- 4 Következő lépések

Hajtóművek típusai

Meghajtó rendszer feladatai szerint

- ▶ Pályára állításhoz (különböző fokozatok elemeiként) termikus energia : 3-30 GW szilárd, folyékony vagy hibrid rendszerű meghajtás (kN - GN tolóerő)
- ▶ Űreszköz alrendszereként (pályamódosítás, magasság tartó rendszer) mN - N

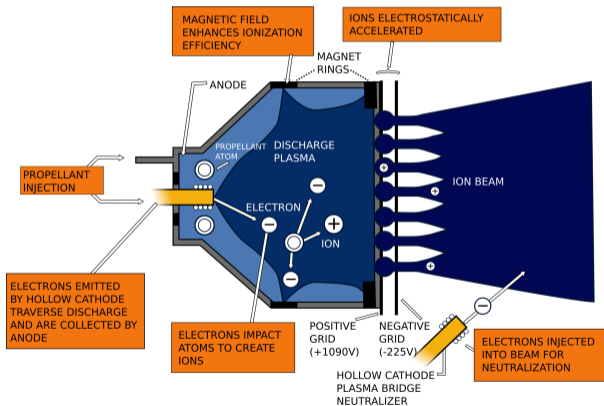
Pálya- és magasság szabályozó rendszer

- ▶ Feladatok : pályaváltás (400-600 N), pályamódosítás (10-20 N), magasságtartás (1-20N)
- ▶ Kémiai hajtóanyagú (egy-vagy több hajtóanyag)
- ▶ Hideg gáz (N, Ar, bután)
- ▶ Elektromos meghajtás (xenon, jód)



Ion hajtómű - általában

- ▶ Ion hajtómű - felgyorsított ionok mozgását használjuk a jármű mozgatására



- ▶ pályakorrekció (LEO vagy GEO) vagy interstelláris utazás (Drawn)
- ▶ alacsony tolóerő (μN - mN) nagyságrend, kis fogyasztás, hosszú használati idő
- ▶ üzemanyagtartály + plazma kamra + gyorsítórács
- ▶ nemfókuszált ionnyaláb \rightarrow fókuszált ionnyaláb

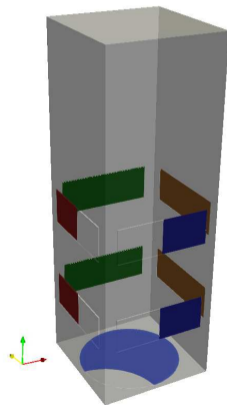
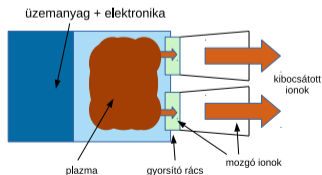
- 1 Meghajtó rendszerek - hajtóművek
- 2 Fizikai modell - megoldás**
- 3 Nyalábformálás - optimalizálási probléma
- 4 Következő lépések

Ionhajtómű - modell

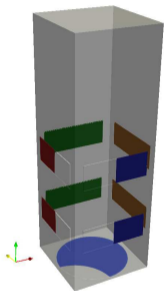
► Egyszerűsített működési elv (hasonló a katódsugárcső esetéhez) - elektrosztatikus tér határozza meg az ionok mozgását

■ fúvókán belüli tartomány a modellezett probléma

- gyorsító rács teteje (zérus potenciálúnak tekintve)
- elektródák a rács tetejéhez képesti feszültségre kapcsolva
- vákuum a fúvókán belül



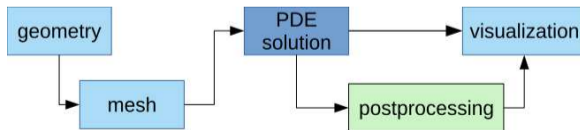
Fizikai megoldás - blokkvázlat



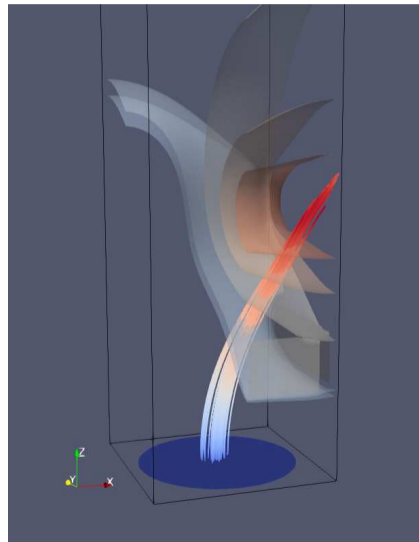
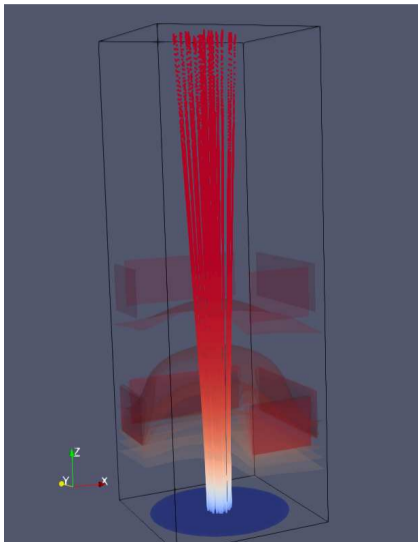
- ▶ elektrosztatikus tér + mozgásegyenletek megoldása az ionokra
- ▶ véges elemes analízis (FEM) - összetett geometrián megoldandó Laplace-egyenlet

$$\nabla(\varepsilon \nabla \phi) = 0; \quad \phi_i = U_i \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_j = 0$$

- ▶ DOF : 2D-ben néhány 10000, 3D-ben 1.000.000 körüli is lehet, nagyméretű probléma adódik
- ▶ postprocessing - eredmény felhasználása ionpálya számítására
- ▶ vizualizáció - pl. eredmények bemutatására (ParaView alkalmazása)



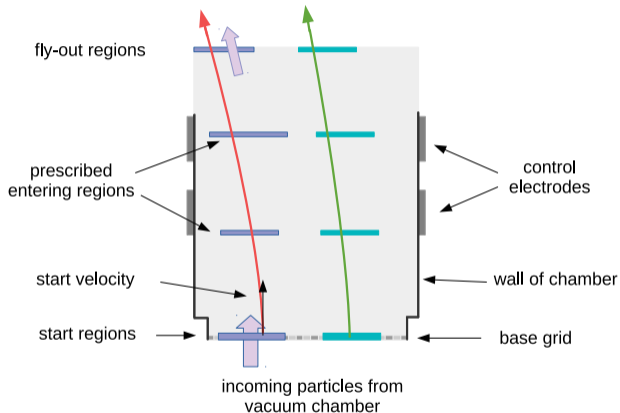
Fizikai megoldás - eredmények



- 1 Meghajtó rendszerek - hajtóművek
- 2 Fizikai modell - megoldás
- 3 Nyalábformálás - optimalizálási probléma**
- 4 Következő lépések

Nyalábformálás - optimalizálás

- ▶ A gyorsítórácson áthaladó ionok fúvókán keresztül távoznak, egyenletes tolóerővektor
- ▶ Az ionnyaláb irányításával a tolóerő vektor is változtatható
- ▶ lehetséges paraméterek listája:
 - ▶ meghajtó geometria,
 - ▶ irányító elektródák száma és elhelyezkedése,
 - ▶ elektródák potenciálja



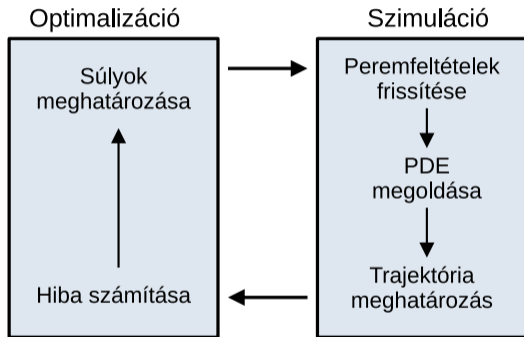
Gépi tanulás (optimalizálás) - blokkvázlat

- ▶ gépi tanulás - mesterséges intelligencia (buzzwörd) egy fajtája
- ▶ nagy mennyiségű adaton végzett optimalizálás valamely költségfüggvény minimalizálásával
- ▶ hibafüggvény (négyzetes hiba) az "elvárt" és a mért közötti távolság

$$F = e^2(i) = [t(i) - a(i)]^2$$

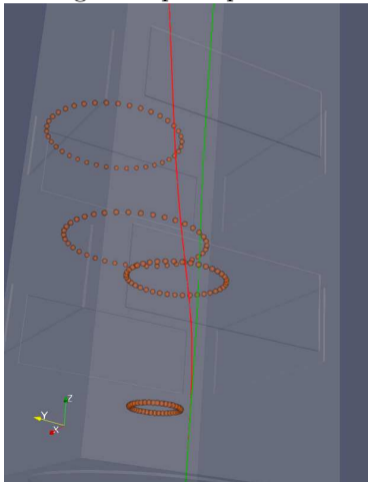
- ▶ következő állapot

$$W_{n+1} = W_n + 2 \cdot \alpha(n) \cdot e(n) \cdot p(n)$$

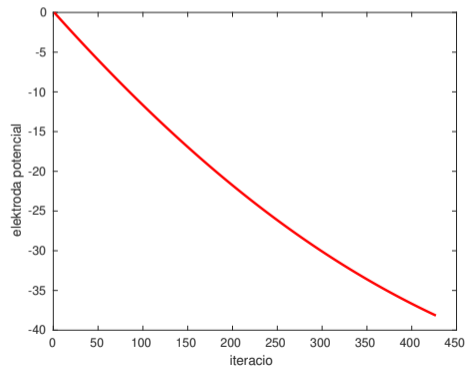


Nyalábformálás - eredmények

- ▶ kiindulási állapot - zöld vonal
- ▶ végső állapot - piros vonal



- ▶ elektróda potenciál változása iterációk alatt



- 1 Meghajtó rendszerek - hajtóművek
- 2 Fizikai modell - megoldás
- 3 Nyalábformálás - optimalizálási probléma
- 4 Következő lépések

Tovább lépés - nyitott kérdések

Fizikai modell oldaláról

- ▶ a számítási komplexitással a fizikai modell megoldása közel megoldhatatlan, speciális numerikus megoldási módszereket kell alkalmazni
- ▶ bonyolultabb fizikai modellek - állandósult ionáramlás, több ion egymásra hatása
- ▶ ionnyaláb irányok váltásakor a potenciálok változtatása olyan modelleket kívánnak, amelyek ezt figyelembe veszik

Optimalizálás oldaláról

- ▶ többlépéses optimalizálás alkalmazása (durvább, majd finomabb)
- ▶ skálázási tényezők hatásának jobb felhasználása
- ▶ hibaszámítás, hibaértelmezés alapján más célokra hogyan változik a konvergencia
- ▶ a konvergencia javíthatósága a learning paraméter (ϵ) változtatásával