

Opponensi vélemény

Erdélyi Miklós: Szuperrezolúciós optikai módszerek fejlesztése és mikroszkópiai alkalmazása című

MTA doktori értekezéséről

A 106 oldalas dolgozat 7 fejezetből áll. 36 db. saját publikáció és 168 db. hivatkozás egészíti ki a művet. A dolgozat a szuperrezolúciós mikroszkópok egy csoportjának modellezésével, fejlesztésével és megépítésével foglalkozik, valamint ezen berendezések használatával főleg biológiai alkalmazásokra. A dolgozatban leírt eléggé ezoterikus munkát a szerző, és munkatársai, az elmúlt 15 év alatt végezték el.

Dicséretes, hogy a jelölt a témakört jóval a 2014-es kémiai Nobel díj odaítélése előtt elkezdte kutatni, ezzel is megmutatva, hogy jó érzékkel rendelkezik értékes tudományos problémák felismerésére. Bár, úgy gondolom szerénységből, a szerző nem írja le, a dolgozatban leírt berendezések megépítése kellő optomechanikai stabilitással nagyon nehéz feladat, amelyet talán csak azok tudnak valójában értékelni, akik már részt vettek ilyen mikroszkópok építésében. A szerző ötletdús tudományos gondolatait a dolgozat jól mutatja.

A dolgozatban leírt tudományos eredmények egy része példaértékű és hasznos, amit jól mutat, hogy pl. a rainSTORM programot több kutatócsoport használja a világon.

Kérdések/megjegyzések

1. Az idézett hivatkozások nem teljesek, több helyen az irodalom egy részét nem ismeri vagy figyelmen kívül hagyja. Ilyen például a 4.1 pont alatt diszkutált nagyapertúrás lencsék polarizáció módosító hatása, ahol az irodalomban már az 1950-es években leírt módszereket nem ismerteti és ezért olyan eredményeket tulajdonít magának, amit korábban már mások is megkaptak. Ez azonban nem befolyásolja alapvetően kísérleti eredményeinek minőségét.
2. Annak dacára, hogy egy MTA doktori értekezés a szerző teljes munkásságát hívatott értékelni, jobban szerettem volna egy koherensebben kidolgozott dolgozatot olvasni. Tisztában vagyok azzal azonban, hogy ezen kritika majdnem az összes doktori dolgozatot illetheti.
3. Az ábrák minősége sokszor nem elégséges, és azokat sajnos a szerző legtöbbször angolul iratozta fel (néhány esetben nyelvtani vagy helyesírási hibával).
4. A szerző többször hasonlítja a STED és SMLM mikroszkópos módszerek felbontását a Rayleigh felbontáshoz. Rayleigh két csillag teleszkópos felbontásához szükséges szöggel definiálta a felbontási határt, úgy, hogy a két csillag akkor bontható fel, ha az egyik csillag PSF-jának maximuma legalább egybe esik a másik PSF első minimumával. Abbe később ezt a határt átfoglalmazta úgy, hogy a szög helyett az intenzitás PSF rádiuszát definiálta felbontási minimumnak. Mindkét definíciónak a közös eleme az, hogy az optikai rendszert intenzitásában lineárisnak tekintik. Ezzel szemben mind a STED, mind a SMLM módszerek intenzitásában nemlineárisak. Kérem a szerzőt, hogy

válaszában elemezze, a szuperrezolúciós módszerek nemlinearitásának szerepét az eredeti szerzők (Hell, Betzig etc.) által leírt maximálisan elérhető felbontás elérésében, illetve, hogy ezek a felbontás értékek milyen körülmények között hasonlíthatók jogosan a Rayleigh/Abbe felbontással.

5. A testSTROM esetén a szerző leírja, hogy a PSF-nak egy képtéri pozíciótól független hengerszimmetrikus eloszlást tételezett fel. Ezen döntést azzal indokolta, hogy a képtér, ill. látótér mérete kicsiny. Azt is kijelenti, hogy az OSLO nevű programot használta a képalkotás szimulációjára. Ezzel kapcsolatos kérdéseim a következők:
 - a. Egy optikai tervező program csak annyira képes valóság-hű modellezésre, amennyire a modellezendő optikát valóság-hűen írjuk le. Ez egy alapvető probléma minden mikroszkópos optikai rendszer modellezésénél. Jól tudott az is, hogy nagyapertúrás objektívjaik receptje (prescription) minden lencsegyártó vállalat legdrágábban őrzött titka. Kérdésem tehát, hogy hogyan modellezte a szerző a nagyapertúrás objektív lencsét a 4.4.4-es ábra leírása körüli értekezésben. Arra is kíváncsi lennék, hogy a tubuslencsét hogyan modellezte, és mik voltak a főbb feltételek a modellben kiválasztott tubuslencse használatára. Amennyiben az objektív lencse ugyan az volt, mint a kromatikus hiba leírásánál tárgyalt objektív, akkor kérdezem, hogy a 136-os szabadalomban megadott lencsét hogyan optimalizálták, hiszen az tudható, hogy japán szabadalmakban leírt lencsék üvegeire a törésmutatót és Abbe-számot mindig annyira megváltoztatják, hogy a lencse eléggé messze legyen az optimális beállítástól, azaz a szabadalomban leírt megvalósítás (embodiment) gyakorlatilag használhatatlan legyen.
 - b. Az a feltevés, hogy az optikai rendszer PSF-je kép-pozíció független az én véleményem szerint még 50 μ m-es FOI esetén is helytelen. Egy olyan matematikai rendszerben, ahol görbeillesztéssel a PSF méretét egy- vagy másfél nagyságrenddel lecsökkentik és néhányszor 10nm-es görbeillesztési pontosságot mutatnak ki, a PSF még kismértékű transzverzális irányú elmozdulása is jelentőségteljes. Természetesen az optikai tervezésből ismert Strehl hányados, illetve a Maréchal kritérium nem használható ebben az esetben, mert azok a hullámfront varianciáját veszik. torzulás mértékének, még a PSF súlypont eltolása, illetve hengerszimmetriájának eltorzulása nem kapcsolhatóak a varianciához matematikai érvek nélkül. Ebben azt értem, hogy ugyan a Maréchal kritérium, illetve hullámfront variancia közvetlenül kapcsolható Seidel/Zernike aberrációk toleranciájához, a harmadrendű Seidel aberrációk nem adnak lehetőséget a PSF súlypontjának direkt számolására. Kérem tehát a szerzőt, hogy matematikailag indokolja meg hogy miért gondolja, hogy ezen feltevés helyes.
 - c. A színhiba leírásánál a szerző elmondja, hogy a tubuslencse egy 180mm-es fókusz-távolságú ideális lencse volt. Kérésem ezzel kapcsolatban az az, hogy a szerző írja le válaszában, hogy ez a feltevés járhat-e a képtér pozíció függő aberrációk megváltozásában egy valódi de optimalizált lencséhez képest.
6. A 4.7.1 ábra diszkusziójával kapcsolatban kérdezem, hogy a szerző megmérte-e, hogy a polarizációs nyalábosztó mennyire homogén módon osztja a nyalábot. Tudható, hogy az osztás homogenitása nagymértékben függ az osztóra eső nyaláb átmérőjétől. A homogenitás mértéke csak részben szabja meg a kioltási arányt, ami a dolgozatban 10⁻³-ként szerepel.

7. Ugyan ezen ábrával kapcsolatban a szerző kijelenti, hogy az optikai rendszer működését OSLO-val szimulálta. Kérdésem, hogy a szerzőnek birtokában voltak-e az objektív lencsén belül használt reflexió mentesítő rétegek adatai. Amennyiben nem, kérem becsülje meg a számolási hibát, amit ezen rétegek elhanyagolása okoz. Nem lehet, hogy ez okozza a 86. oldal alján leírt numerikus diszkrepanciát?

Tudományos eredmények értékelése

Az 1 tézispontot csak részlegesen tudom elfogadni, mert az elért eredmények egy része már közel 70 éve ismert. A 7. tézispontot is csak részlegesen tudom elfogadni, mert a véleményem szerint a dolgozatban leírtak alapján a testSTORM program egy része olyan feltevéseken alapszik, amelyek nem helyesek. Továbbá a mikroszkópos vektoriális képalkotás modelljét a szerző előtt mások is megalkották.

A többi tézispontot új tudományos eredménynek ismerem el és megállapítom, hogy a szerző érdemben hozzájárult a szakterület továbbfejlődéséhez.

A doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek, az értekezést mint művet alkalmasnak tartom az „MTA doktora” cím megszerzéséhez. Az értekezés nyilvános vitára bocsátását javaslom.

2021 szeptember 29



Török Péter