IZRAČUN SONČNEGA POTENCIALA OBJEKTOV IZ PODATKOV LIDAR

Niko LUKAČ, Danijel ŽLAUS, Natalija TRSTENJAK, Borut ŽALIK

POVZETEK

Sončna energija je atraktivni vir za pridobivanje elektrike v prihodnosti. Kljub obnovljivosti vira in vsakodnevne dostopnosti je maksimalna količina prejete energije odvisna od mnogih dejavnikov. V članku predstavimo metodo za izračun sončnega potenciala streh objektov za dano lokacijo in časovno obdobje. Metoda upošteva pozicijo in orientacijo Zemlje glede na Sonce, naklone objektov in površja z uporabo natančne topografije, pridobljene iz podatkov LiDAR, vpliv senčenja in meteoroloških dejavnikov. Pri tem se maksimalna izračunana sončna energija prilagodi glede na osenčenost in meteorološke dejavnike ter predstavlja boljši približek realnim razmeram.

1. UVOD

Maksimalno teoretično sončno energijo za izbrano površje in časovno obdobje je možno izračunati z dobro natančnostjo, s pomočjo izračuna pozicije in orientacije Zemlje glede na Sonce. Izračunana sončna energija ne bo nikoli eksaktna energija, ki jo pridobijo sončne elektrarne v praksi, ker je končni izkoristek sončne energije odvisen od drugih dejavnikov, med drugim od: geografske lege objekta, lokalnih meteoroloških vplivov (refleksija in absorpcija energije zaradi oblakov, temperatura in vlažnost zraka...) in topografskih podatkov (naklon površja). Meteorološki vplivi niso izračunljivi in jih pridobimo iz različnih meritev (od vremenskih postaj do vremenskih satelitov). Topografski podatki o površju izhajajo iz več virov: DMR (digitalni model reliefa), zračni fotografski posnetki in podatki LiDAR (Light Detection And Ranging). S pomočjo naklonov iz topografskih podatkov je možno ugotovit vpadne kote sončnih žarkov, ki določajo intenziteto prejete sončne energije. Podatki LiDAR so glavni vir za izračun osenčenosti zaradi 3D informacij o objektih in površju.

Izračun sončnega potenciala že dolgo obstaja na področju GIS [2]. Veliko rešitev uporablja topografijo iz DMR [1, 3, 4] za izračun naklonov in osenčenosti, vendar je bistvena slabost nizka prostorska ločljivost. Boljši pristop pri upoštevanju topografije je uporaba klasificirane množice točk LiDAR [5, 6, 7, 8], kjer našteti pristopi tudi upoštevajo ali izračunajo osenčenost. Pristopa [5, 6] prav tako upoštevata vpliv meteoroloških dejavnikov.

V tem članku je predstavljena metoda za izračun sončnega potenciala objektov na dani lokaciji in časovnem obdobju. Natančno topografijo površja in objektov dobimo iz klasificiranih podatkov LiDAR. Maksimalno teoretično prejeto sončno energijo zmanjšamo glede izračunane osenčenosti in meteoroloških vplivov. Članek je razdeljen na 5 poglavij, kjer 2. poglavje na kratko povzame tehnologijo LiDAR in klasifikacijo podatkov. Poglavje 3 je razdeljeno na več podpoglavij, ki opisujejo pot do rešitve problema s kombinacijo različnih metod. V 4. poglavju podamo eksperimentalne rezultate predstavljene metode. V zaključku so podane ugotovitve in namig za nadgradnjo rešitve v prihodnosti.

2. PODATKI LIDAR

Zračno lasersko prebiranje ali LiDAR je tehnologija daljinskega zaznavanja zemeljskega površja in objektov na njem. LiDAR je aktivni instrument, ki pošilja kratke laserske pulze na zemeljsko površje in opazuje njihov odboj. Na osnovi merjenja razdalje potovanja pulza do zemeljskega površja in nazaj do sprejemnika, pridobiva podatke o položaju opazovanih predmetov. Poleg razdalje meri še kot, čas in intenziteto odboja [9].

Senzor deluje v vidnem in infrardečem delu spektra (valovna dolžina EMV je med 800 - 1100 nm, frekvenca je med 5 - 200 kHz), kjer je odbojnost rastlinstva največja in nevarnost za človekov vid najmanjša. Natančnost podatkov je odvisna od parametrov snemanja. Za izračun sončnega potenciala je ocenjena optimalna gostota točk med 1 in 4 **točke/m²**, kar zagotavlja optimalno razmerje med količino podatkov (število točk) in njihovo natančnostjo. Pri tej gostoti snemanja je zagotovljena pozicijska natančnost [10] do 0,25m in višinska natančnost do 0,15m, kar zadošča za zagotavljanje verodostojnih rezultatov na nivoju mesta ali regije.

Rezultat snemanja je oblak 3D točk, zapisanih s prostorskimi koordinatami in praviloma več atributi, ki opisuje vse značilnosti zemeljskega površja. Za pravilno interpretacijo podatkov le-te v nadaljevanju filtriramo, kjer odstranimo neželene točke dobimo digitalni model višin površja. Klasifikacija, oziroma prepoznavanje geometrijskih struktur ali objektov je naslednji pomemben korak. S klasifikacijo dobimo kvalitativni sloj, ki razvrsti točke v razrede:

- površje,
- objekti: stavbe in strehe,
- visoka vegetacija: gozd in posamezna drevesa,
- ostalo: nizka vegetacija, ograje, avtomobili in ostali objekti.

Z uporabo razreda objektov je možno izračunati sončni potencial za vsako stavbo.

3. **REŠITEV PROBLEMA**

Postopek pričnemo s pripravo podatkov LiDAR. Točke klasificiranih podatkov LiDAR vstavimo v enakomerno porazdeljeno mrežo, kjer je velikost celice odvisna od izbrane ločljivosti (npr. $0,5m^2$). Višina celice je enaka točki z maksimalno višino, ki se nahaja v celici. Razlika med vizualizacijo množico točk LiDAR in predstavitvijo z mrežo celic vidimo na sl. 1.



Sl. 1: Vizualizacija podatkov LiDAR a) s točkami in b) z mrežo.

Nad celicami mreže nato izračunamo povprečni sončni potencial za določeno geografsko lokacijo in časovno obdobje, kjer upoštevamo osenčenost, meteorološke vplive in topografijo Zemeljinega površja. Časovno obdobje in lokacija imata velik vpliv, saj Zemlja rotira in je različno oddaljena od Sonca [11]. Posledično to vpliva na maksimalno sončno energijo celice $E_{max \ celica}$, ki jo izračunamo s postopkom, opisanim v [19].

3.1 Položaj Sonca

Za izračun osenčenosti površja simuliramo položaj Sonca. Simulacija uporablja univerzalni koordinatni čas (UTC) in položaj na Zemlji, ki ga dobimo s povprečenjem GPS koordinat iz množice točk LiDAR. Nato aproksimativno izračunamo, kje se nahaja Sonce z uporabo astronomskega algoritma Almana [13]. Simuliran položaj Sonca je povprečno različen za 0,1% od realnih podatkov iz Griffinovega observatorija [15]. 3D graf sončnega kota (azimut) za primer mesta Maribor lahko vidimo na sl. 2. Najbolj vidna značilnost je prehod na letni čas v mesecu marcu in oktobru. Prav tako je na robu grafa viden čas sončnega vzhoda in zahoda za celotno leto.



Sl. 2: Sončni kot za celotno leto 2010.

3.2 Osenčenost ploskev

S simulacijo senc zmanjšamo maksimalno sončno energijo za dano lokacijo in čas. Pri ugotavljanju, ali so strehe stavb v senci ali ne, upoštevamo naslednje scenarije:

- poševna streha je lahko za določen čas dneva v senci,
- streho lahko del dneva zakriva okoliški teren in okoliške stavbe,
- na osenčenost strehe lahko vplivajo tudi dimniki in nadstrešni objekti.



Sl. 3: Prikaz del terena in stavb, kjer padajo sence pod enakim kotom.

Algoritem za izračun senc [17] deluje nad mrežo, v kateri se nahajajo podatki LiDAR. Vektor smeri sončnih žarkov direktne svetlobe je izračunan z razliko med položajem središča mreže in položajem Sonca. Pri tem predpostavljamo, da je območje uporabljenih podatkov LiDAR dovolj majhno, da ima ukrivljenost planeta zanemarljiv vpliv. Posledično izračunane sence padajo pod enakim kotom za celotno izbrano območje (glej sl. 3). Rezultat osenčenosti je povprečje vseh senc na dani celici za neko časovno obdobje in normalizirano na interval **[0,1]**. Na sl. 4 vidimo 3D prikaz povprečne osenčenosti dela mesta Maribor za časovni interval 24 ur s korakom 1 ure med dvema zaporednima dnevoma, za štiri letne čase v letu 2010.





Sl. 4: Povprečna osenčenost za a) 21-22.03.2010, b) 21-22.06.2010, c) 22-23.09.2010 in d) 21-22.12.2010

Na sl. 4 je prikazan tudi položaj Sonca za dano uro v dnevu.

3.3 Uporaba meteoroloških podatkov

Z opisanim postopkom določimo odstotek osončenosti (kadar ni senc). Vendar simulirana osončenost ni nikoli enaka realnim razmeram, zato je smiselno upoštevati meteorološke vplive za določeno časovno obdobje na posamezni lokaciji. Problem rešimo z uporabo statističnih podatkov vremenskih postaj na ali blizu dane lokacije. Za Slovenijo lahko uporabimo podatke ARSO [18], za povprečno letno število ur sončnega obsevanja. Glede na želeno časovno obdobje, sončne ure časovno skaliramo in normaliziramo v interval **[0, 1]**.

Znan je odstotek povprečne odbite (~31%), zaradi ti. efekta albedo, in absorbirane (~20%) sončne energije zaradi oblakov [12], kot je prikazano na sl. 5.



Sl. 5: Ilustracija vpliva oblačnosti na odstotek sončnega obsevanja.

Z upoštevanjem meteoroloških vplivov lahko sončno energijo zmanjšamo z izračunom:

$E_{colica_{1}} = \left(E_{max_{coli}} \right)$	$e_{a} - (E_{vreme_refleksija} + E_{vreme_absorpcija}) * NS) \left[\frac{\kappa vn}{m^2}\right]$	(1)
kjer je:		
E _{celica1}	- sončna energija celice po upoštevanju meteoroloških vplivov,	
Emax celica	- maksimalna sončna energija celice ,	
E _{vreme_refleksija}	- 31% od E max celica,	
E _{vreme_absorpcija}	- 20% od $E_{max celica}$,	
NS	- odstotek ur brez Sonca (1 – SoncneUre).	

3.4 Izračun sončnega potenciala

Za izračun povprečnega sončnega potenciala za vsako celico upoštevamo položaj, čas, osenčenost, meteorološke vplive in topografijo površja. Razporeditev sončne energije je odvisna od topografskih značilnosti površja [14]. Topografska značilnost ene celice je naklon oz. izračunan normalni vektor. S Sobelovim filtrom [21] izračunamo normalne vektorje nad mrežo celic.

Odstotek sevanja sončne energije na površje je odvisen od kota β med normalnim vektorjem celice in vektorjem smeri sončnih žarkov (glej sl. 6). Odstotek sončne energije nato izračunamo kot funkcijo $cos(\beta)$.



Sl. 6: Ilustracija normalnega vektorja *N*, vektorja smeri žarkov *L* in kota β .

Tako je v našem sistemu končna enačba za izračun povprečnega sončnega potenciala:

$$E_{collica} = \left(E_{collica_1} * (1 - 0senčenost) * cos(\beta)\right) \left[\frac{kWh}{m^3}\right]$$
(2)
kjer je:

 $\begin{array}{ll} E_{celica} & - \operatorname{povprečen} \operatorname{potencial} \operatorname{sončne} \operatorname{energije} \operatorname{celice}, \\ E_{celica_1} & - \operatorname{sončna} \operatorname{energija} \operatorname{celice} \operatorname{po} \operatorname{upoštevanju} \operatorname{meteoroloških} \operatorname{vplivov}, \\ \hline \textit{Osenčenost} & - \operatorname{odstotek} \operatorname{osenčenosti} \operatorname{celice}, \\ \beta & - \operatorname{kot} \operatorname{med} \operatorname{normalnim} \operatorname{vektorjem} \operatorname{celice} \operatorname{in} \operatorname{vektorjem} \operatorname{smeri} \operatorname{sončnih} \operatorname{žarkov}. \end{array}$

4. REZULTATI

Opisan pristop smo implementirali v programskem jeziku C++, za vizualizacijo je bila uporabljena knjižnica OpenGL. Uporabljena strojna oprema: procesna enota Intel Core 2 Duo (2,93Ghz), 4GB delovnega pomnilnika in grafična kartica Ati Radeon HD4600 1GB. Pristop smo preizkusili nad klasificiranimi podatki LiDAR dela mesta Maribor (koordinate GK področja: 548000, 158001, 548779, 158500) velikosti ~0,37km². Izračunali smo povprečne sončne potenciale za obdobja štirih letnih časov, kot je prikazano na sl. 7. Osenčenost smo izračunali s časovnim korakom 1 ure pri ločljivosti celic $0,5m^2$.



Sl. 7: Prikaz izračunanega povprečnega sončnega potenciala za obdobja štirih letnih časov a) 21.03-21.06.2010, b) 21.06-22.09.2010, c) 22.09-21.12.2010 in d) 21.12.2010-21.03.2011.



Na sl. 8 vidimo povprečne vrednosti sončnega potenciala na uro za leto 2010. Porazdelitev se zelo približa Gaussovi porazdelitvi z maksimumom sončnega potenciala v poletju.

Sl. 8: Povprečne vrednosti sončnega potenciala za testirano območje za vsak mesec leta 2010.

Prikaz povprečnega sončnega potenciala na uro za leto 2010 je na sl. 9. Vidimo, da imajo ravna površja večji potencial čez leto, zaradi vpadnega kota žarkov. Na sl. 9b je prikazan sončni potencial za posamezne stavbe.



Sl. 9: Prikaz izračunanega povprečnega sončnega potenciala za celotno področje (a) in za posamezne stavbe (b).

Izmerili smo porabljen čas naše metode na CPU (glej preglednico 1). Za večjo natančnost smo meritve ponovili 3 krat in končne čase povprečili.

	Č. K.	P. L.	Č. K.	P. L.	Č. K.	P. L.	
	1h	1 m²	0,5h	1 m ²	1h	0,5 m²	
Časovno obdobje	Čas izračuna [s]						
21.03.2010 - 21.06.2010	164,5		331,3		1267,2		
21.06.2010 - 22.09.2010	165,8		332,8		1274,5		
22.09.2010 - 21.12.2010	122,8		237,6		867		
22.12.2010 - 21.01.2011	118,2		232,7		831		

Preglednica 1: Meritve porabljenega časa naše metode na CPU.

Uporabljene kratice: časovni korak (Č. K), prostorska ločljivost (P. L.).

Iz preglednice 1 je razvidno, da je čas izračuna najkrajši v zimskem obdobju, ker so takrat noči daljše in objekti so v sencah za dalj časa.

5. ZAKLJUČEK

Predstavljena metoda omogoča dobro ocenitev sončnega potenciala posameznih ali več objektov za določeno časovno obdobje na podani geografski lokaciji. Približek izračuna se bolje približa dejanskim razmeram z večanjem natančnosti zajema podatkov LiDAR in meritev meteoroloških pojavov. Izračune za velika področja in daljša časovna obdobja je možno izvesti v predobdelavi, za omogočanje kasnejšega hitrega dostopa do rezultatov, na primer preko spletne aplikacije. Aplikacijo bomo priredili tudi za vzporedno procesiranje, prav tako pa bomo vključili še druge komponente (na primer rastje), ki bodo pripomogle še boljšemu približku realnem sončnem potencialu.

6. VIRI

- Xavier Ponsa, Miquel Ninyerolab, Mapping a topographic global solar radiation model implemented in a GIS and refined with ground data, International journal of climatology, vol. 28, pp. 1821-1834, 2008
- [2] Hetrick, W.A., Rich, P.M., Barnes, F.J., Weiss S.B., GIS-based solar radiation flux models, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, GIS Photogrammetry and Modeling, vol. 3, pp. 132-143, 1993
- [3] Lalit Kumer, Andrew K. Skidmore, Edmund Knowles, Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment, International Journal of Geographic Information Science, vol. 11, pp. 475-497, 1997
- [4] Pinde Fu, Paul M. Rich, A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 37, is. 1-3, pp. 25-35, 2002
- [5] Kassner R., Koppe W., Schuttenberg T., Bareth G., Analysis of the solar potential of roofs by using official lidar data, The international archives of the photogrammetry,

remote sensing and spatial information sciences, vol. XXXVII, pp. 399–403, Beijing, China, 2008

- [6] Jochem A., Höfle, B., Hollaus, M., Rutzinger M., Object detection in airborne LiDAR data for improved solar radiation modeling in urban areas, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII, pp. 1-6, Paris, France, 2009
- Jochem A., Wichmann V., Höfle B, Large area point cloud based solar radiation modeling, Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, vol. 21, 2010
- [8] Dorothea Ludwig, Sandra Lanig, Martina Klärle, Sun-area Towards Location-based Analysis For Solar Panels By High Resolution Remote Sensors, International Cartographic Conference, Santiago de Chile, November 15-21, 2009
- [9] Maune, D. F., 2008, Aerial mapping and surveying. In Land development hand-book (3th edn), S.O. Dewberry and L.N. Rauenzahn (Eds), pp. 877{910 (New York, NY: McGraw-Hill Professional).
- [10] Jie Shan, Charles K. Toth ed., Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, CRC Press, 2008
- [11] Muhammad Iqbal, An introduction to solar radiation, Academic Press Inc, New York, 1983
- [12] John M. Wallace, Peter V. Hobbs, Atmospheric Science: An introductory survey, Academic Press, New York, 1977
- [13] Joseph J. Michalsky, The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950–2050), Solar Energy, vol. 40, iss. 3, pp. 227 – 235, 1988
- [14] Ralph C. Tempsa, K. L. Coulsona, Solar radiation incident upon slopes of different orientations, Solar Energy, vol. 19, iss. 2, pp. 179 – 184, 1977
- [15] Griffith Observatory, Sunrise and Sunset 2010, Online:
- [16] <u>http://www.griffithobs.org/skyfiles/skysunrise2010.htm</u> (10.01.2011)
- [17] Matthew Strahan, Real-Time Heightmap Self-Shadowing Using the Strider Technique, Online:http://www,gamedev,net/page/resources/_/reference/programming/sweetsnippets/real-time-heightmap-self-shadowing-using-the-strider-technique-r2125 (22.06.2004)
- [18] Republic of Slovenia Agency for Environment ARSO, Online: <u>http://www.arso.si/</u>
- [19] Gregg A. Stickler, Solar Insolation, NASA Goddard Space Flight Center, Online:
- [20] <u>http://edmall.gsfc.nasa.gov/inv99Project.Site/Pages/solar.insolation.html</u> (26.6.2000)
- [21] Bernd Jähne, Digital Image Processing, Springer, 2002

NASLOVI AVTORJEV

Niko Lukač (<u>niko.lukac@uni-mb.si</u>), dipl. inž. rač. in inf. tehnol. (UN)¹ Danijel Žlaus (<u>danijel.zlaus@uni-mb.si</u>), dipl. inž. rač. in inf. tehnol. (UN)¹ Natalija Trstenjak (<u>natalija.trstenjak@geoin.si</u>), univ. dipl. inž. rač. in inf.² red. prof. dr. Borut Žalik (<u>zalik@uni-mb.si</u>), univ.dipl.inž. elektrot.¹

¹ Univerza v Mariboru,
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,
Laboratorij za geometrijsko modeliranje in algoritme multimedijev,
Smetanova ulica 17,
SI-2000 Maribor, Slovenija.

² Geodetski inženiring d.o.o. – GEOIN, Gosposvetska cesta 29, SI-2000 Maribor, Slovenija.