

Randka z LOLA

Jedną z szerzej nagłaśnianych w mediach części zakończonej niedawno misji Artemis II był przelot nad niewidoczną stroną Księżyca i obserwacja „obszarów, których nigdy nie widziało ludzkie oko”. Była to pewna przesada, od dawna dysponujemy bowiem nie tylko zdjęciami, ale również bardzo dokładnymi danymi o topografii całego Księżyca. W niniejszym artykule opisano, jak wykorzystać te dane do generacji trójwymiarowej wizualizacji powierzchni Srebrnego Globu.

I LRO, LOLA I DOSTĘPNE DANE

Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) to wystrzelona w 2009 roku sonda NASA, której zadaniem było, w wielkim skrócie, dokładniejsze „zmapowanie” Księżyca niż miało to miejsce w erze programu Apollo: topografia, morfologia, obszary polarne (w tym obszary cienia w pobliżu biegunów) oraz dane przydatne do planowania przyszłych lądowań i misji powierzchniowych. LRO nadal krąży po orbicie naszego satelity i przesyła ok. 15 GB danych dziennie – paliwa na wykonywanie manewrów wystarczy do przyszłego roku. Sonda ma na pokładzie pakiet instrumentów – dla naszego tematu kluczowa jest LOLA [1].

NASA *ex aequo* z NATO to królowie „akronimowego szaleństwa”. Inżynierowie tej agencji potrafią zamienić najprostsze urządzenie w skomplikowany ciąg liter, a potem desperacko próbować ułożyć z nich słowo, które brzmi (w najlepszym razie) jak rasa psów. Nawet pieluska, którą mają w skafandrach astronauta, nosi napuszoną nazwę MAGa (od *Maximum Absorbency Garment*). Jako współautora wielu dyskusyjnych skrótowców, oznaczających komponenty oprogramowania, jest to podejście bliskie mojemu sercu. LOLA to *Lunar Orbiter Laser Altimeter* – instrument, który mierzy odległość do powierzchni Księżyca, mierząc czas lotu impulsu laserowego. Wzdłuż toru lotu powstaje seria odczytów; po przetworzeniu i zestawieniu z geometrią orbity otrzymuje się m.in. wartość wysokości, które łatwo przetworzyć na produkty rastrowe w układzie współrzędnych powierzchniowych – czyli siatkę pikseli, w której każda komórka odpowiada konkretnemu obszarowi na powierzchni. Dla ciał niebieskich robi się to zwykle w cylindrycznej projekcji mapowej – można to sobie wyobrazić jako owinięcie globu arkuszem papieru i zrzutowanie na niego punktów z powierzchni kuli. Po rozwinięciu otrzymujemy płaską mapę. Taki produkt końcowy można już dość wygodnie obrabiać, nie przejmując się (długim i skomplikowanym) procesem kalibracji instrumentu z uwzględnieniem elementów orbitalnych, stopniem rozproszenia odbitych wiązek lasera itp. Obrobione dane dostępne są jako ujednolicona siatka GDR (Gridded Data Records) i zapisane m.in. w formacie zgodnym z PDS (Planetary Data System). Maksymalna rozdzielczość waha się w zależności od obszaru od 5 do 30 metrów na piksel (wyższa w pobliżu biegunów z powodu niższej orbity sondy; obszary okołobiegunowe są najbardziej interesujące z punktu widzenia przyszłej eksploracji i to właśnie na południowym biegunie Księżyca ma wylądować misja Artemis 4).

W ramach eksperymentu postanowiłem wybrać niewielki fragment powierzchni Księżyca (1000x1000 pikseli) – kryterium stano-

wiła maksymalna amplituda wysokości, bo miałem nadzieję zobaczyć wyraźny relief z górami i kraterami. Wybrałem zestaw danych o relatywnie niewielkiej rozdzielczości (1/64 stopnia, czyli ok. 500 m na piksel [2]), dzięki czemu mogłem załadować całą mapę Księżyca do pamięci – plik wejściowy ma ok. 500 MB. Zdjęcie „zwykłego” obszaru można zobaczyć na Rysunku 1 – jest to zrzut ekranu interaktywnej mapy Księżyca [3].



Rysunek 1. „Najbardziej poszarpany” fragment powierzchni Księżyca jako zdjęcie z LRO z nałożonymi nazwami kraterów

Choć GDR lepiej nadaje się do przerobienia na wizualizację 3D, niż surowe dane z LOLA, nie oznacza to, że jest to łatwe. Na początku trzeba wczytać dane do pamięci. Dane LOLA są publikowane w postaci zestawów zgodnych z konwencją PDS tekstowych etykiet LBS i plików binarnych IMG. Etykieta opisuje rozmiar rekordu, liczbę linii mapy i próbek w linii, skalowanie wartości w komórce, granice mapy w stopniach itd. Pliki są dość dobrze okomentowane, dzięki czemu można się na przykład dowiedzieć, jak wylicza się księżycowy odpowiednik wysokości nad poziomem morza (w uproszczeniu poziom

„zero” to różnica średniego promienia planetarnego i promienia geoidy, który wyprowadzany jest z modelu pola grawitacyjnego danego ciała). W pliku binarnym mamy rekordy (jedna linia mapy to jeden rekord) z danymi zapisanymi w postaci dwubajtowych liczb całkowitych ze znakiem w konwencji *little-endian*. Surową wartość musimy jeszcze przemnożyć przez wyciągnięty z etykiety `SCALING_FACTOR`.

Pierwszym krokiem w przetwarzaniu musiało być więc sparsowanie etykiety, wyciągnięcie z niej zestawu potrzebnych nam informacji i weryfikacji, czy plik binarny odpowiada danym z etykiety (rozmiar IMG musi być równy `FILE_RECORDS × RECORD_BYTES`). Mapa jest prostokątna i ma wymiary `LINES × LINE_SAMPLES`, interesują nas także granice geograficzne (maksymalna i minimalna długość i szerokość) i rozdzielczość (`MAP_RESOLUTION`) w pikselach na stopień. Przy okazji dowiadujemy się kolejnej ciekawostki z dziedziny geografii ciał niebieskich. Choć mapki księżycy (zwłaszcza te „dla mas”) są rysowane zwykle z południkiem zero i długościami geograficznymi wschodnią i zachodnią od 0° do 180°, to dane LOLA GDR zapisane są zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Unii Astronomicznej (IAU, *International Astronomical Union*). IAU ustaliła standardy dla układów współrzędnych ciał niebieskich, aby uniknąć chaosu – skala 0°–360° jest uniwersalna dla wszystkich planet i księżyców. Ma to dodatkowe zalety – mapy topograficzne, takie jak te z danych LOLA, to w rzeczywistości gigantyczne macierze. Praca z liczbami dodatnimi jest prostsza, odpada potrzeba ifologii „jeśli współrzędna jest ujemna, to...”. Dane są ciągłe – w systemie -180/+180 „południk zero” znajduje się pośrodku mapy, a w systemie 0–360 na jej brzegu, co sprawia, że łatwiej jest „zszywać” mapy w całe „globusy” bez „zmiany kierunku” w centrum mapy. Dodatkowo eliminujemy niejednoznaczności kierunków – „wschód” i „zachód” związane są z rotacją ciała niebieskiego i na innych planetach historycznie były różnie definiowane. W systemie IAU zdefiniowana jest tylko długość wschodnia, która rośnie w kierunku zgodnym z ruchem obrotowym planety (taki np. Uran obraca się na boku), więc pisząc 200°, nie zastanawiamy się, czy jest to 160° na zachód, czy 200° na wschód.

Na Księżycu „południk zero” jest wyznaczony (mniej więcej) przez punkt podziemski (ang. *Sub-Earth point*), który znajduje się na środku widocznej z Ziemi tarczy Księżyca (ma więc koordynaty 0° szerokości i 0° długości geograficznej). Jest on zlokalizowany na obszarze Sinus Medii w pobliżu niewielkiego krateru Bruce. Podobnie jak w przypadku ziemskim jest to miejsce umowne – w rzeczywistości Księżyc „buja się” trochę na orbicie (nazywa się to libracją), więc punkt podziemski „wędruje” wokół współrzędnych (0,0).

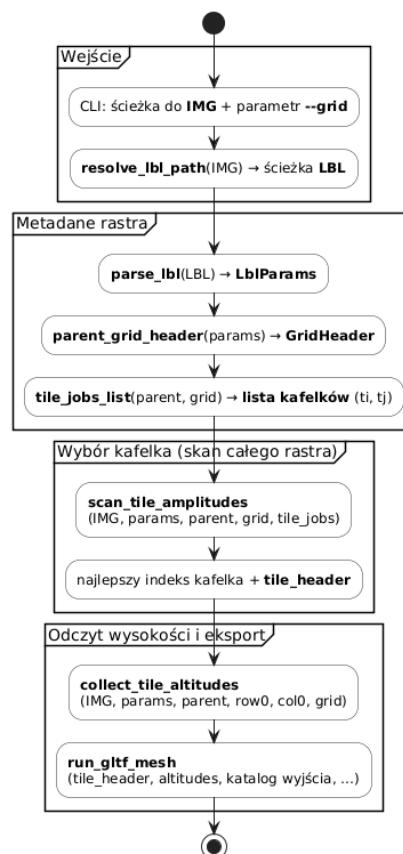
ARCHITEKTURA APLIKACJI

Projekt `date_with_LOLA` (dostępny pod adresem https://github.com/norberci/date_with_LOLA) napisałem w języku Rust. Po zbudowaniu otrzymujemy pojedynczą binarkę, która kolejno:

1. Wczytuje wskazany plik IMG odpowiadający mu nazwą LBL.
2. Dzieli raster na niezachodzące na siebie kwadratowe „kafelki” (ang. *tile*) o boku N (domyślne 1000, ale można to zmienić poleceniem `--grid` z linii poleceń).
3. Przechodząc po całym pliku, dla każdego kafelka oblicza amplitudę wysokości (różnica maksimum i minimum w metrach w obrębie kafelka) i wybiera kafelek o największej.

4. Wczytuje wybrany fragment do pamięci.
5. Zapisuje z niego mesh glTF 2.0 jako .glb (domyślnie) albo parę .gltf + .bin (szczegóły w dalszej części artykułu).

Fazy działania aplikacji obrazuje diagram z Rysunku 2. Jedyną zależnością spoza biblioteki standardowej jest `serde_json`, który służy mi do zbudowania drzewa JSON opisującego scenę glTF.



Rysunek 2. Fazy działania aplikacji `date_with_LOLA`

Aplikacja jest podzielona na cztery moduły (szczegółowe wyjaśnienie odpowiedzialności znajduje się w dalszej części artykułu):

Moduł	Odpowiedzialność
lbl_parser	Odczyt pliku LBL do struktury <code>LblParams</code> : wymiary rastra, skalowanie, granice mapy, rozmiar rekordu
grid_header	Abstrakcja „nagłówka siatki”: granice długości/szerokości, <code>LINES</code> , <code>LINE_SAMPLES</code> , funkcje do obliczania współrzędnych środka piksela <code>longitude_at / latitude_at</code> oraz pochodne nagłówki dla podkafelka
img_reader	<code>ImgLineReader</code> : otwarcie IMG z walidacją rozmiaru pliku, czytanie kolejnych linii do bufora (bez ładowania całego rastra)
mesh_gltf	Z bufora wysokości buduje bajty pozycji wierzchołków, opcjonalnie normalne, indeksy trójkątów, JSON root glTF oraz zapis .glb lub .gltf+.bin
main	Parsowanie CLI, kolejność faz (<code>run</code>), komunikaty diagnostyczne, katalog wyjściowy output

Index: 285358

www.programistamag.pl

Magazyn programistów i liderów zespołów IT

programista

3/2026 (124)

Cena 32.90 zł (w tym VAT 8%)

Już w Empiku

RUST LECI NA KSIĘŻYC

Randka z LOLA

Sprzedaż licencji
z Paddle

Agenta zatrudnię,
od zaraz

STM32 w środowisku
VS Code

Z archiwum CVE

Strefa CTF


mydevil.net

DOSKONAŁY HOSTING
DLA PROGRAMISTÓW

www.mydevil.net

ISSN 2084-9400

03



9 772084 940602