GATE – Software pro metodu Monte Carlo na bázi GEANTu

Jiří Terš[1], Jiří Trnka[2]

[1]Radioizotopové pracoviště IKEM

[2]Oddělení radiační ochrany Všeobecné fakultní nemocnice v Praze

Co je to GATE?

- Software pro preklinické a klinické Monte Carlo simulace v transmisní a emisní tomografii a radiační terapii
- Podporuje i dozimetrii a tzv. optické zobrazování (viditelné spektrum)
- Jde v podstatě o „překladač“ macro scriptů (textových dokumentů) do C++ využívající jádro GEANTu (CERN)
- Na míru dělaný medicínským aplikacím – jazyk macro scriptů již do jisté míry předpokládá, jak vypadá například PET a z jakých částí se skládá
- Nevyžaduje přímou znalost programovacího jazyka
- Umožňuje čerpat z volnosti GEANTu – volba fyziky, interakcí, materiálů…

Výhody GATE

- GATE je zdarma a bez registrace k dispozici ke stažení na http://www.opengatecollaboration.org/
- Určený pro medicínské aplikace = jednodušší tvorba geometrie, detektorů, atd.
- Částečná podpora výpočtů na grafických jádrech (nVidia CUDA)
- Volnost volby fyziky (GEANT) a simulovaných interakcí
- Možnost nestacionární geometrie – v simulacích funguje čas
- Tzv. digitizer modul pro simulaci elektroniky detektorů
- Možnost výstupu v ROOTu

Nevýhody GATE

- Nutnost kompilace ze zdrojových kódů
- Silně závislý na použitých verzích veškerého softwaru, ovladačů a samotného OS – je třeba použít pouze verze, na kterých je funkčnost ověřena = možnost GATE nainstalovat a používat závisí spíše na softwaru než hardwaru
- Poměrně špatná dokumentace – ucelená kompletní dokumentace celého softwaru prakticky neexistuje (do určité míry lze vycházet z manuálu GEANT4)
- Nepoužívá multithreading – je nutné spustit vícekrát jednovláknově (manuálně či job splitter/merger)
- Akceleraci výpočtu na grafické kartě lze použít jen pro některé úlohy a s určitými omezeními
- Zatím stále nepodporuje formát DICOM (pouze ASCII, Interfile, Analyze, MetaImage)

Jak GATE nainstalovat?

- GATE je možné používat ve 2 módech:
  - **vGATE** = virtuální instalace GATE pro Virtual Box obsahující OS Ubuntu, GATE, GEANT, ROOT, GCC a ImageJ – ready to GO
  - **standardní instalace GATE** = kompilace ze zdrojových kódů
- Prakticky použitelné pouze pro Linux-based OS

Jak si GATE co nejrychleji vyzkoušet?

- Nejrychleji lze pracovat s virtuální verzí
- Nejlépe se s GATE seznámíte, pokud si vyzkoušíte některé příklady
- Příklady mohou být součástí instalace – je nutno zatrhnout při kompilaci volbu „Download example data“
- Stahování example dat je nestabilní a může se stát, že celá kompilaci na stahování „spadne“
- Lze kompilovat bez příkladů a jednotlivé soubory případně manuálně stáhnout a nakopírovat do příslušných složek – download k dispozici na:

  https://midas3.kitware.com/midas/community/28

Fyzika v GATE

- Podpora všech modelů obsažených v dané verzi GEANTu
- Lze zapnout/vypnout jednotlivé interakce a vybírat jejich modely (Standard/Livermore/Penelope…)
- Nutno stáhnout patřičné Data Files z webu GEANTu: http://geant4.web.cern.ch/geant4/support/download.shtml
- V GEANTu několik desítek modelů fyziky – každý zpravidla vhodný pro jiný účel (energie eV-TeV, druhy částic fotony/neutrony/protony/mezony…)
- Pro běžné medicínské aplikace stačí používat defaultní modely – jiné volby jsou zajímavé například pro simulace poškození DNA nebo u hadronových svazků
- GEANT nepoužívá tabulky účinných průřezů, ale analytické vzorce – malé soubory

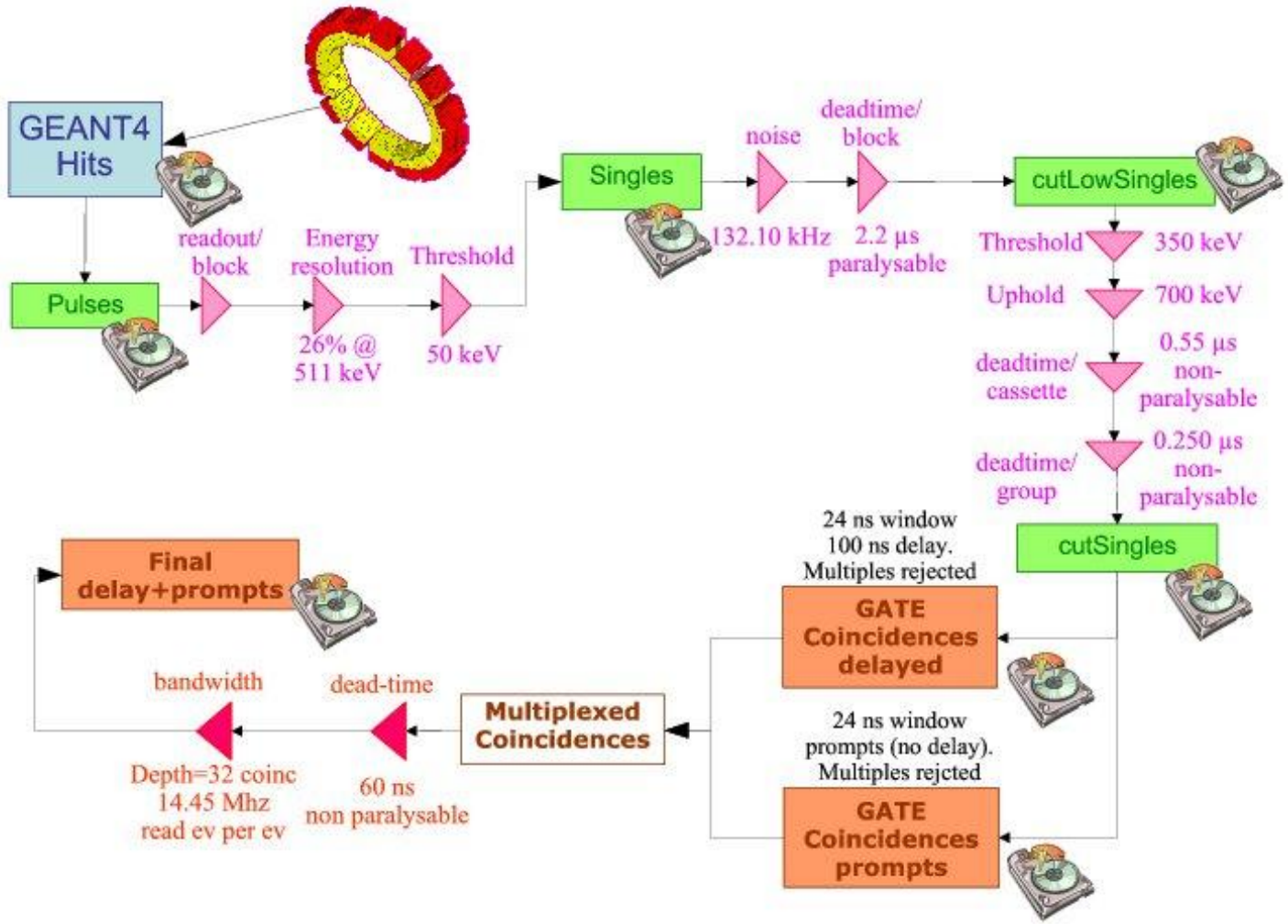
Jak funguje v GATE čas?

- Simulace samotné probíhají bez časové proměnné, ale je možné jednoduše vytvořit řetězec simulací, které se liší polohou detektoru/zdroje, atd.
- Tj. uživatel simuluje časovou proměnnou změnami geometrie
- K dispozici několik definovaných pohybů včetně základního posunu a rotace
- Na konci makra se definuje počáteční a koncový čas + tzv „timeslice“
- Radionuklidy se během simulace mohou rozpadat

Digitizer

- Modul, který se stará o určitý preprocessing dat – z jednotlivých zaznamenaných interakcí (hitů) je schopen namodelovat reálnou odezvu detektoru
- Adder = sloučení hitů v jednotlivých detektorech do reálných impulsů
- Readout = vyhodnocení polohy interakce (simulace bloku PMT)
- Energy Blurring = simulace energetické rozlišovací schopnosti (rozmazání)
- Crosstalk = simulace rušivé odezvy sousedních detektorů
- Thresholder/Upholder = prahování detekovaných impulsů, možnost nastavení oken
- Time blurring = rozmazání času detekce
- Modelování náhodného šumu
- Modelování elektroniky (sample rate, buffer, pile-up, dead time…)
- Conincidence sorter (nastavení zpracování koincidencí)

Digitizer – ukázkové schéma

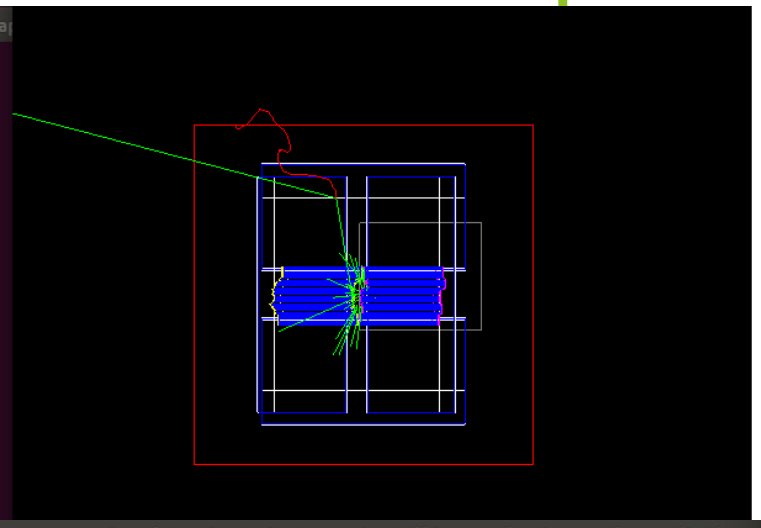


Voxelové fantomy v GATE

- GATE podporuje jednoduchý import voxelových fantomů v několika formátech (DICOM v současné době nelze)
- Použití při výpočtu a při grafické vizualizaci vede k potřebě velkého množství operační paměti
- Hodnoty ve voxelovém fantomu lze definovat jako voxelový zdroj (čísla->aktivita) a/nebo jako prostředí pro transport záření (čísla->materiál) – jemnost přiřazení lze libovolně volit v .txt souboru
- Lze si vybrat z několika algoritmů pro výpočet transportu záření voxelovým fantomem – přesnost, rychlost a paměťová náročnost algoritmu zpravidla závisí na množství voxelů a použitých materiálů
- Pro transport záření voxelovým fantomem lze použít GPU – nelze v outputu generovat data o rozptýleném záření ve fantomu a pro GPU voxelový zdroj nelze definovat poločas rozpadu

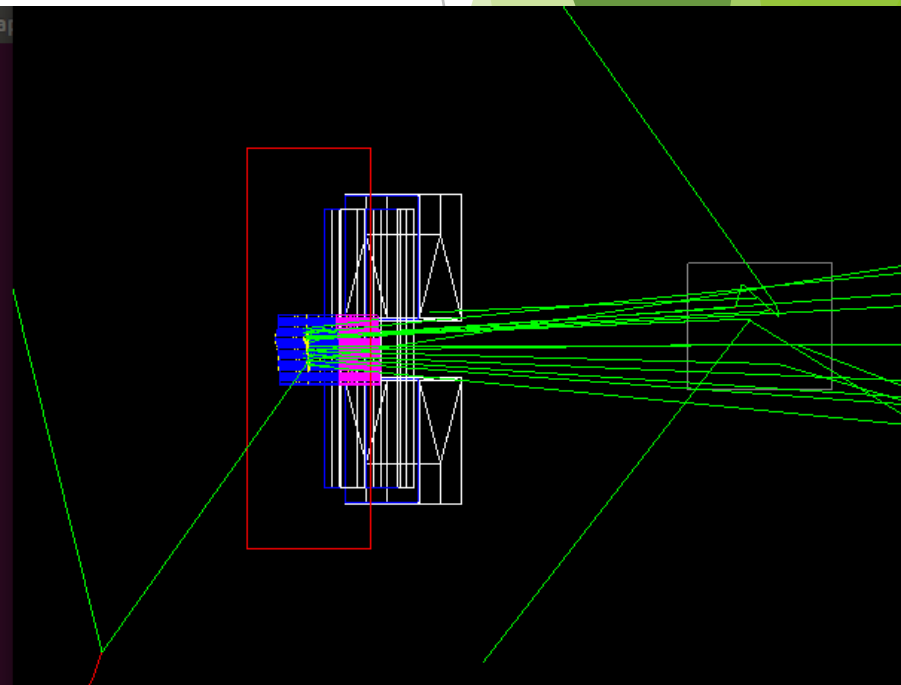
Aplikace-radiační terapie

```
zakarumit@zakarumit-M50Vc: ~/Desktop/Gate/gatev7.1install/examples/example_Radiothera
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_Leaf_Kill_Plane
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_rounded_part
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_trp_inf
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_trp_sup
        mylinac_MLC_Leaf2_Right
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_Leaf_Kill_Plane
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_rounded_part
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_trp_inf
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_trp_sup
        patient
        DefaultRegionForTheWorld

### === G4UAtomicDeexcitation::InitialiseForNewRun()
### ===  PIXE model for hadrons: Empirical  1
### ===  PIXE model for e+-:     Livermore  1
WARNING: 100 events have been kept for refreshing and/or reviewing.
  "/vis/reviewKeptEvents" to review them.
WARNING: G4VisManager::EndOfRun: Automatic event keeping was suspended.
  The number of events in the run exceeded the maximum, 100, that may be
  kept by the vis manager.
  The number of events kept by the vis manager can be changed with
  "/vis/scene/endOfEventAction [accumulate|refresh] <N>", where N
  is the maximum number you wish to allow.  N < 0 m
```

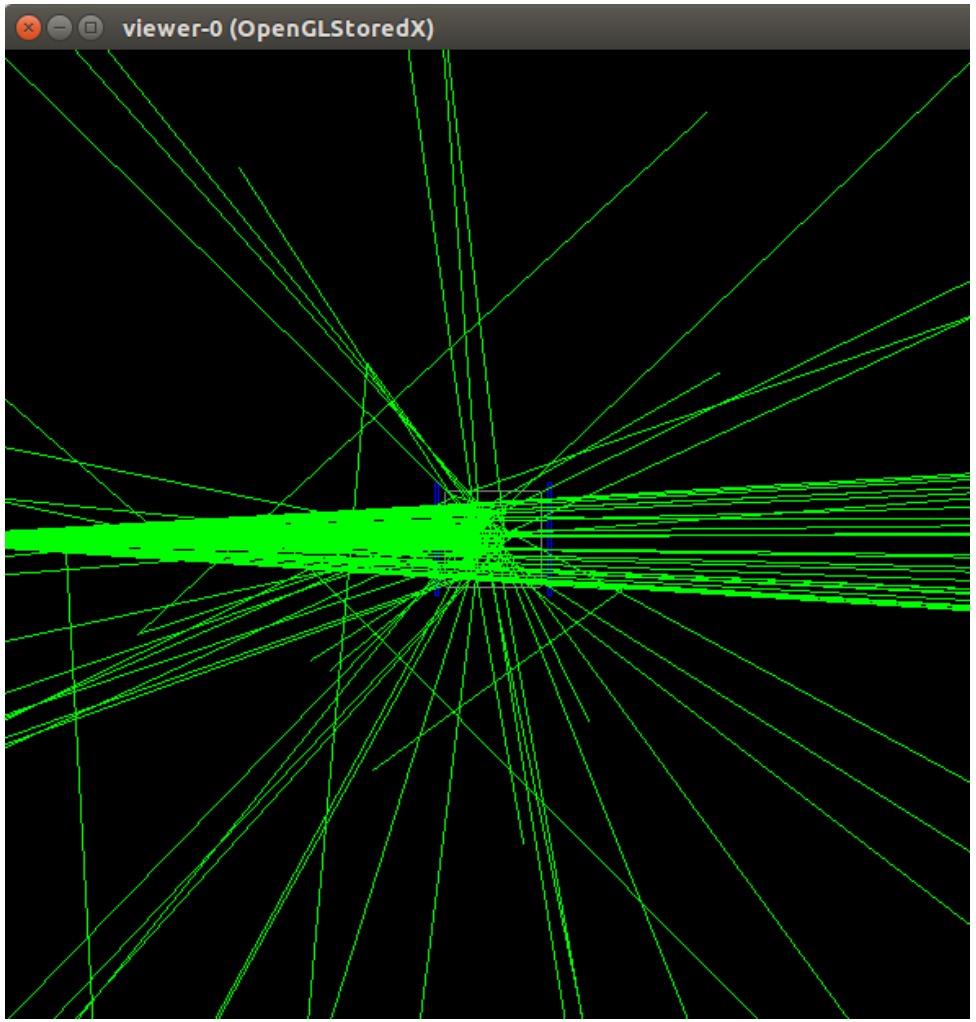


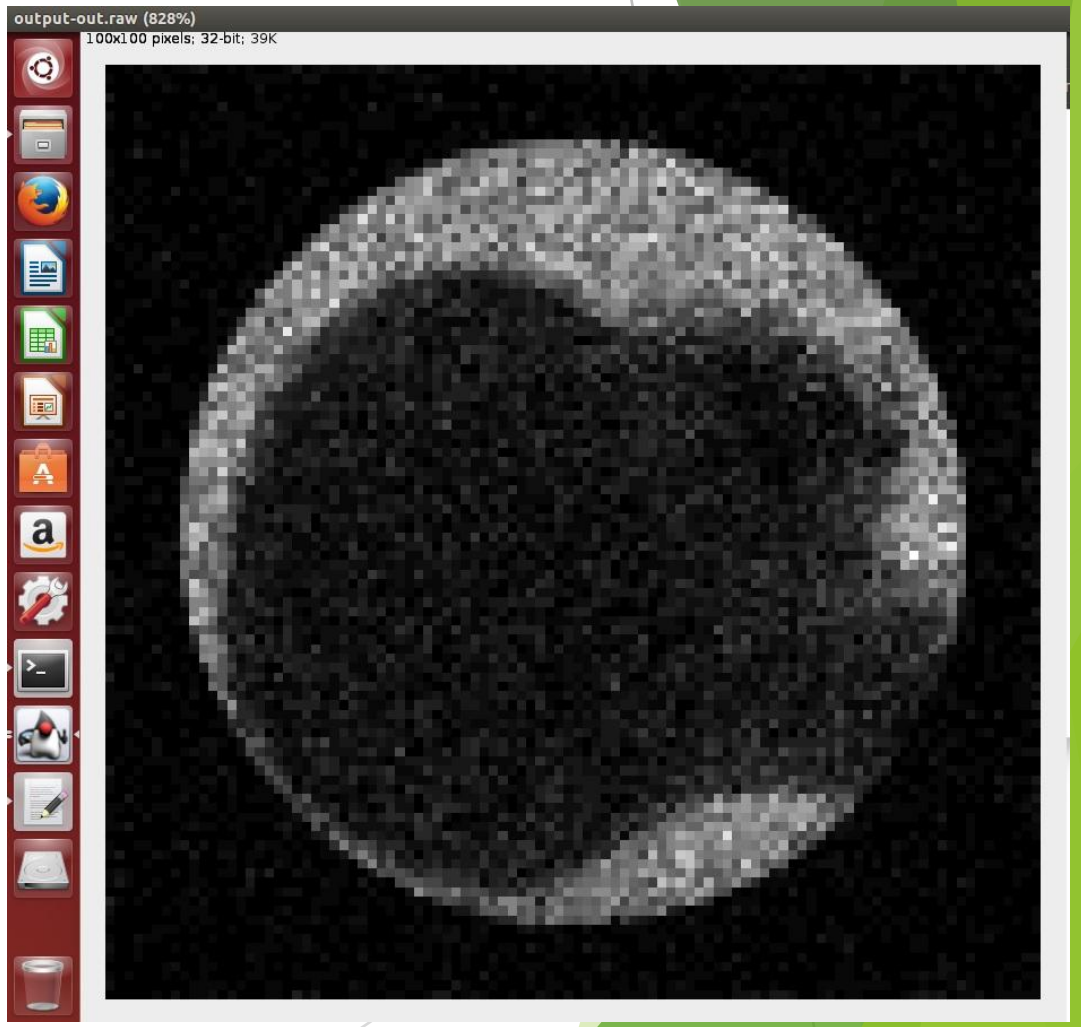
Simulace IMRT terapie (metoda step and shoot - 100 polí, výstup = dávka + chyba ve 3D a statistika simulací)

```
zakarumit@zakarumit-M50Vc: ~/Desktop/Gate/gatev7.1install/examples/example_Radiothera
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_Leaf_Kill_Plane
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_rounded_part
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_trp_inf
        mylinac_MLC_Leaf1_Left_trp_sup
        mylinac_MLC_Leaf2_Right
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_Leaf_Kill_Plane
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_rounded_part
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_trp_inf
        mylinac_MLC_Leaf2_Right_trp_sup
        patient
        DefaultRegionForTheWorld

### === G4UAtomicDeexcitation::InitialiseForNewRun()
### ===  PIXE model for hadrons: Empirical  1
### ===  PIXE model for e+-:     Livermore  1
WARNING: 100 events have been kept for refreshing and/or reviewing.
  "/vis/reviewKeptEvents" to review them.
WARNING: G4VisManager::EndOfRun: Automatic event keeping was suspended.
  The number of events in the run exceeded the maximum, 100, that may be
  kept by the vis manager.
  The number of events kept by the vis manager can be changed with
  "/vis/scene/endOfEventAction [accumulate|refresh] <N>", where N
  is the maximum number you wish to allow.  N < 0 means "unlimited".
```



Aplikace-rentgenová diagnostika





Rentgenový svazek s fantomem a detektory – výsledek v detektoru 100*100

Otázky?

Následují aplikace v nukleární medicíně a dozimetrii