

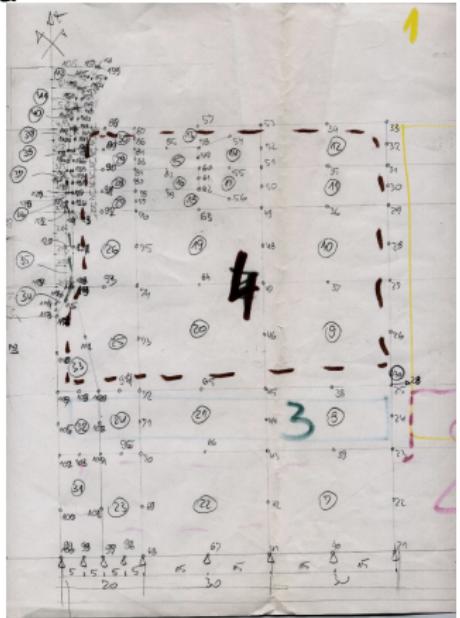
Паралелна рачунарска метода прорачуна интеракције земљотреса, тла и конструкције

Борис Јеремић

Department of Civil and Environmental Engineering
University of California, Davis, U.S.A.

Интеракција земљотреса, тла и конструкције (ЗТК)

- ▶ Дипломски пре скоро 18 година
- ▶ релативно мали модел
- ▶ линеарно еластичан материјал
- ▶ аксисиметрични елементи са развојем померања у тригонометријске редове
- ▶ упрощено земљетресно оптерећење
- ▶ врло корисна анализа интеракције земљотреса, тла и конструкције



Од тада ...

- ▶ Еласто–пластичност (мале и велике деформације)
- ▶ Динамика МКЕ модела
- ▶ Технологија коначних елемената (солиди)
- ▶ Теорија вероватноћа и нелинеарна механика
- ▶ Графичко пре и пост процесирање модела МКЕ
- ▶ Рачунарски системи за прорачун (програми и компјутери)

Еволуција система ЗТК

ЗТК хипотеза

- ▶ NEHRP-94 seismic code states that: "*These [seismic] forces therefore can be evaluated conservatively without the adjustments recommended in Sec. 2.5 [i.e. for SS interaction effects]*".
- ▶ флексибилност темеља и тла мења динамичке карактеристике система тло–конструкција (ТК)
- ▶ Смањење крутости ТК система (еласто–пластичност) мења те динамичке карактеристике још више
- ▶ Што се земљотрес појачава, то се својствени периоди система ТК продужавају
- ▶ Доминантни период земљотреса и система ТК може се поклопити

Еволуција система ЗТК

Енергетска равнотежа

- ▶ Равнотежа енергије: унос енергије (земљотрес) и потрошња енергије (пластичност, радијација таласа, интеракција флуида и солида) контролише судбину система ЗТК
- ▶ Ако је потрошња енергије већа од уноса \Rightarrow оштећења ће вероватно бити мала
- ▶ Ако је потрошња енергије мања од уноса \Rightarrow оштећења ће вероватно бити велика (резонанција)

Еволуција система ЗТК

Моделовање система ЗТК

- ▶ Понашање конструкције је контролисано динамичким карактеристикама три компоненте:
 - ▶ Земљотрес
 - ▶ Тло
 - ▶ Конструкција
- ▶ Анализа интеракције система ЗТК користећи веродостојне модела
- ▶ Прецизне анализе система ЗТК захтевају развој
 - ▶ бОльих модела система ЗТК
 - ▶ бОльих нумеричких метода
 - ▶ брзих, приступачних рачунара

Паралелни, еласто–пластични коначни елементи

- ▶ Тренутно стање паралелне МКЕ
 - ▶ Развијено за еластичне моделе
 - ▶ неразвијено за еласто–пластичне моделе
 - ▶ Развијено за хомогене, раздвојене паралелне рачунаре
 - ▶ Неразвијено за нехомогене, раздвојене паралелне рачунаре
- ▶ Потребно је развити динамичко балансирање оптерећења чвррова параленог рачунара за
 - ▶ разне врсте елемената
 - ▶ разне врсте материјалних модела
 - ▶ вишеструке генерације (брзине) чвррова паралелног рачунара
 - ▶ рачунарске мреже разных брзина

Ефикасни програмски системи

Метода пластичне декомпозиције домена (ПДД)

- ▶ Вишеструки циљеви методе: минимизација
 - ▶ комуникација међу процесорима (чвровима),
 - ▶ количине података који се прераспоређују и
 - ▶ направити уравнотежене под-домене
- ▶ Паралелно уравнотежавање рачунарског оптерећења кошта $T_{overhead} := T_{comm} + T_{regen}$
 - ▶ T_{comm} је додати трошак (време) комуникације и зависи од врсте рачунарске мреже
 - ▶ T_{regen} је додатни трошак регенерације модела после сваке прерасподеле и зависи од врсте модела

Ефикасни програмски системи

ПДД: модель

- ▶ Рачунарско оптерећење сваког процесора
 $T_j := \sum_{i=1}^{nel} ElemCompLoad[i] ; j = 1, \dots, nCPU$
 - ▶ Циљ је оптимизовати најспорији процесор
 $T_{max} := \max(T_j) ; j = 1, \dots, nCPU$
 - ▶ Тотално рачунарско време (нереално)
 $T_{sum} := \sum(T_j)$
 - ▶ Најоптималније рачунарско време (идеално уравнотежење)
 $T_{best} := T_{sum}/nCPU, \Rightarrow T_j \equiv T_{best} \quad \forall j = 1, \dots, nCPU$
 - ▶ Највеће убрзање прорачуна $T_{gain} := T_{max} - T_{best}$
 - ▶ Динамичка прерасподела домена се врши ако
 $T_{gain} \geq T_{overhead} = T_{comm} + T_{regen}$

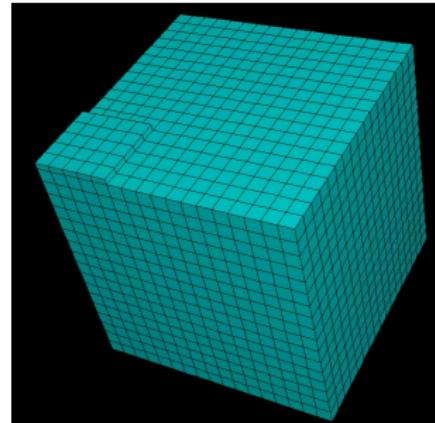
ПДД Имплементација

- ▶ ParMETIS нумеричке библиотеке за операције на графовима
- ▶ PETSc солвери
- ▶ UCD побољшана верзија OpenSees модела анализе
- ▶ UCD CompGeoMech нумеричке библиотеке (елементи, материјални модели, алгоритми...)
- ▶ Ефикасно убрзање за велики број процесора (тестирано до 1024)
- ▶ Оптимизација ПДД алгоритма и прорачуни рађени на локалном рачунару (UCD) GeoWulf и на рачунарима LongHorn (TACC) и DataStar (SDSC)

Ефикасни програмски системи

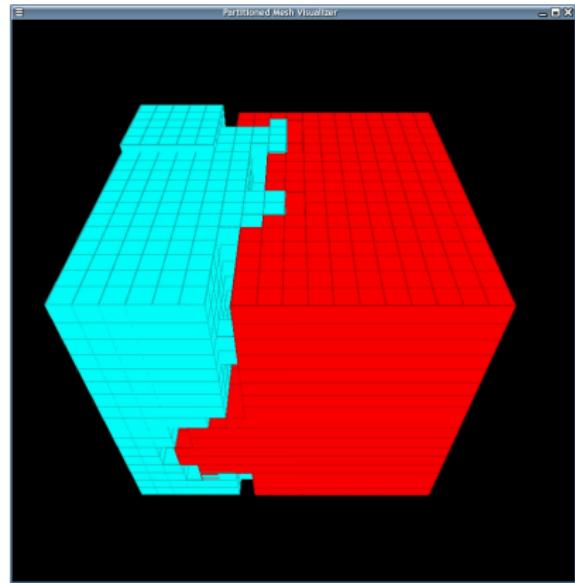
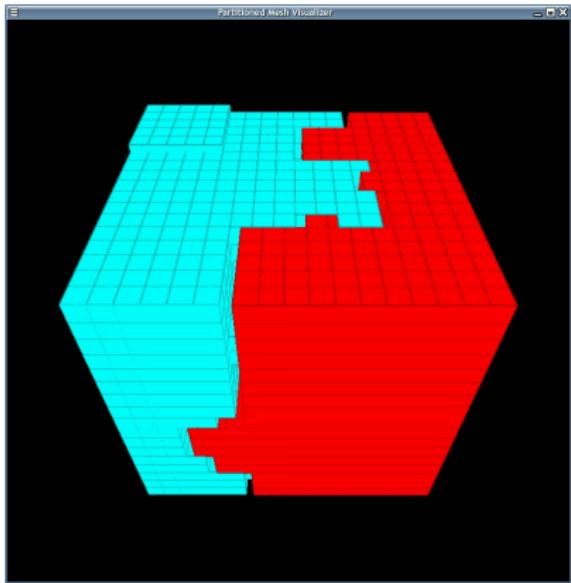
ПДД пример

- ▶ МКЕ модел интеракције тла и темеља (4,938 елемената, 17,604 непознатих)
- ▶ Еласто–пластично тло
- ▶ Мала промена еласто–пластичне зоне
- ▶ Минимизирање прерасподеле података
- ▶ Дозвољена већа непрецизност прерасподеле елемената (5 %)



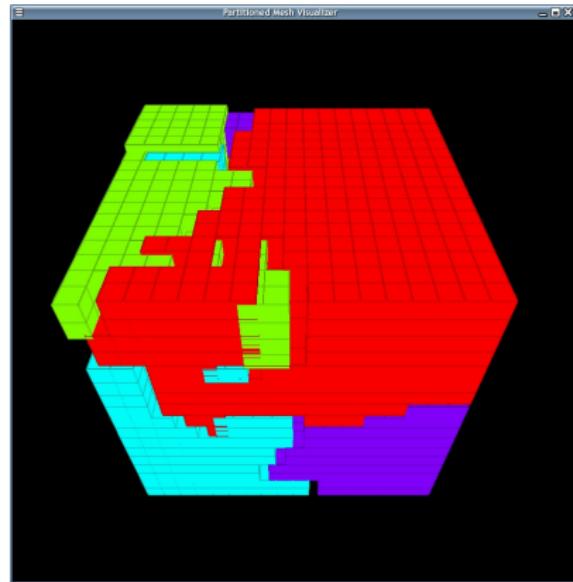
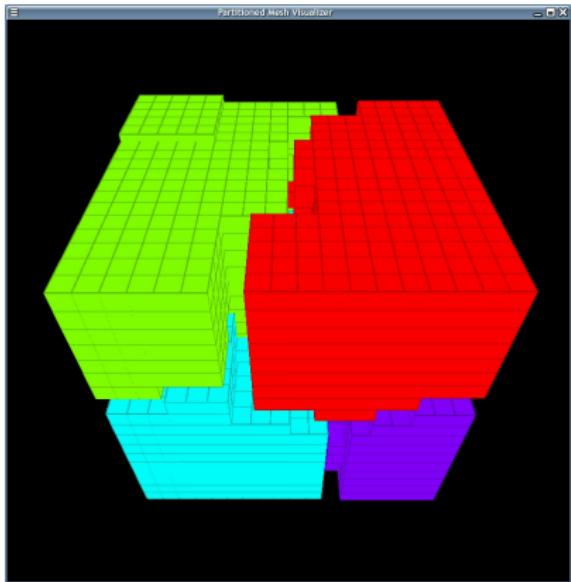
Ефикасни програмски системи

2 процесора, ПДД расподела–прерасподела



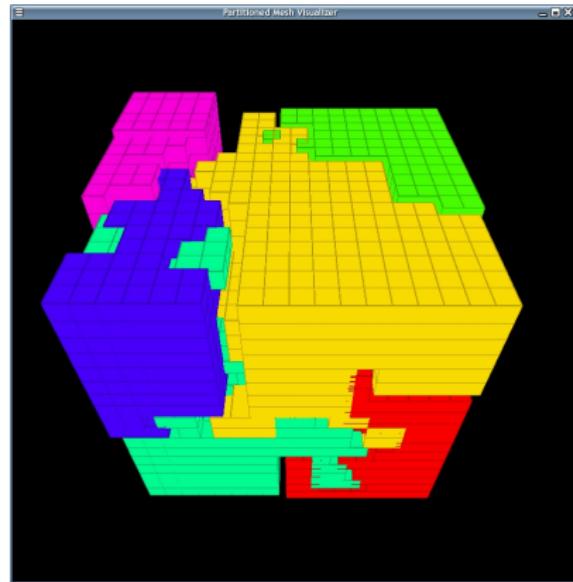
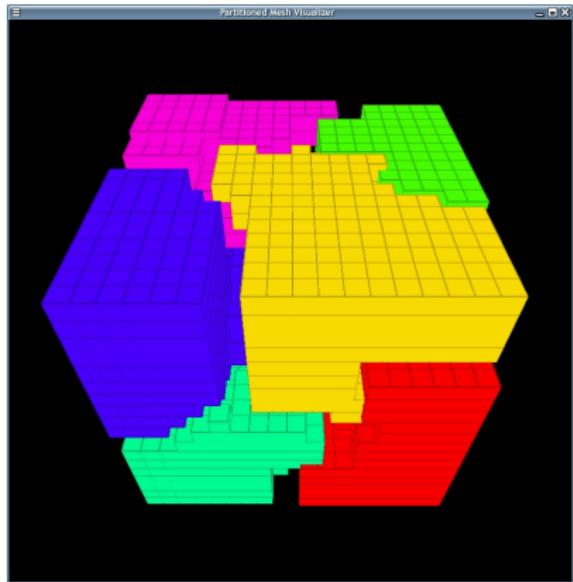
Ефикасни програмски системи

4 процесора, ПДД расподела–прерасподела



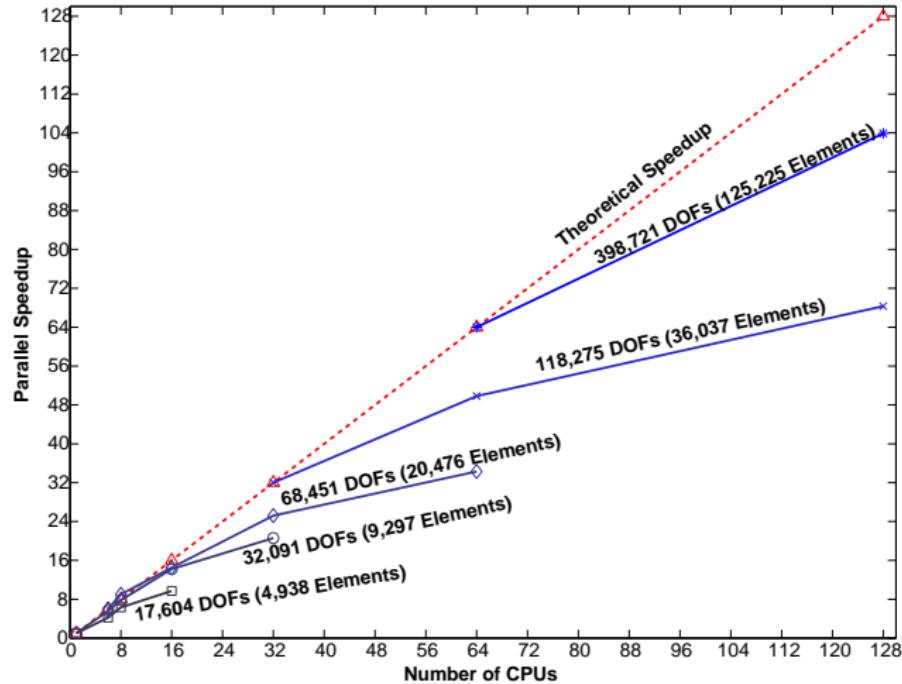
Ефикасни програмски системи

8 процесора, ПДД расподела–прерасподела



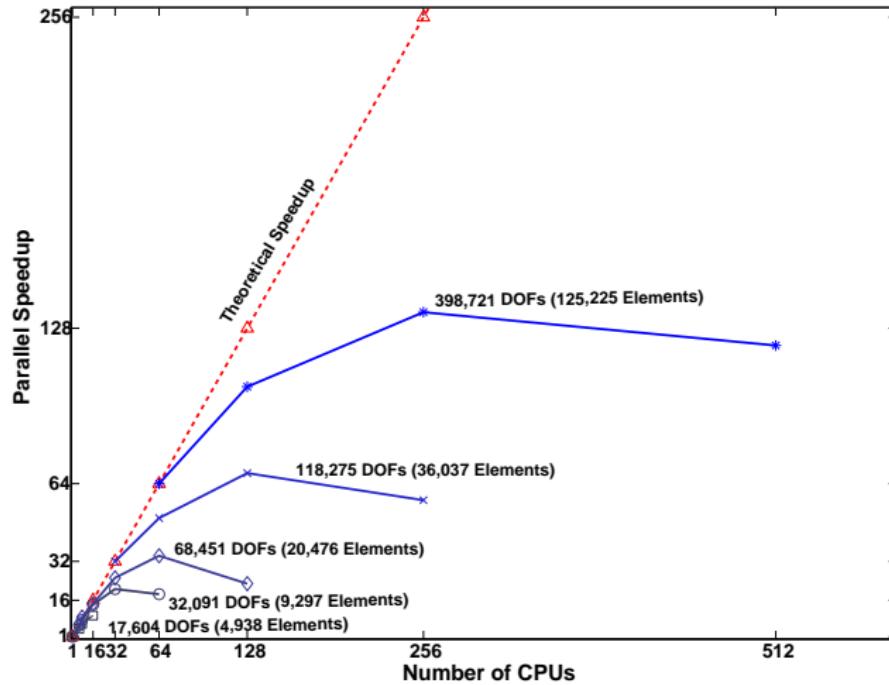
Ефикасни програмски системи

Преглед убрзања



Ефикасни програмски системи

Преглед убрзања (успорење?)



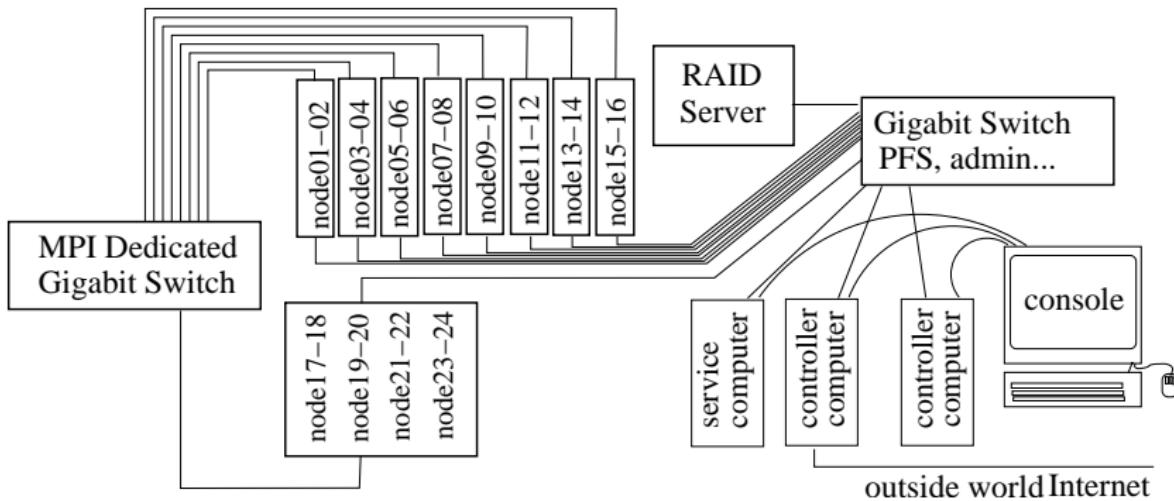
Паралелни Рачунари

Паралени рачунар *GeoWulf*

- ▶ Рачунар са чвровима са расподељеном меморијом
- ▶ Више генерација чворних процесора
- ▶ Врло ефикасан (цена/брзина)
- ▶ Иста рачунарска архитектура као велики паралелни рачунари (SDSC, TACC, EarthSimulator...)
- ▶ Развијен локално, стално приступачан

Паралелни Рачунари

GeoWulf: рачунарска архитектура



Паралелни Рачунари

GeoWulf: изглед



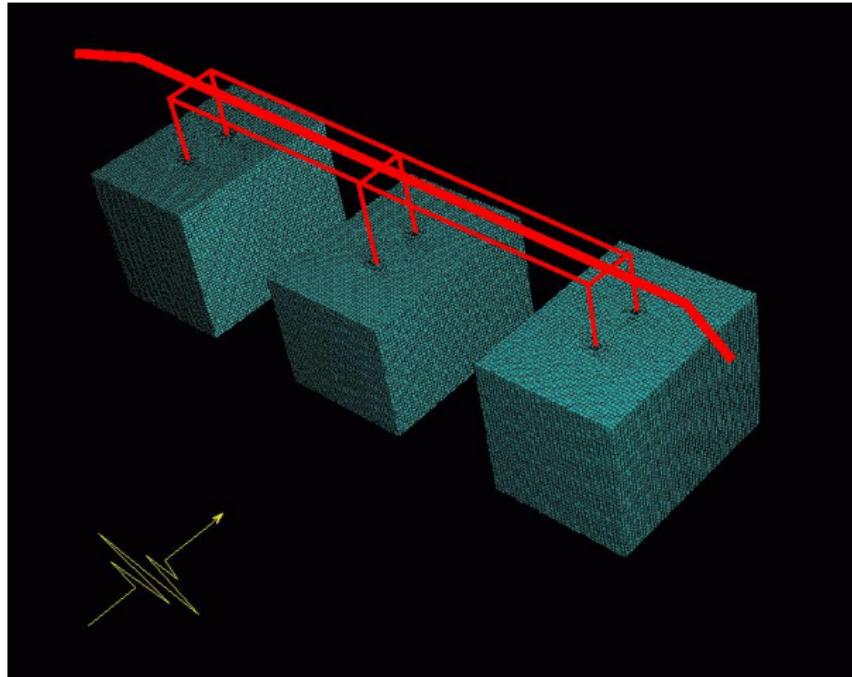
Паралелни Рачунари

GeoWulf: конструкција



3Д модели високе прецизности

Детаљан 3Д модел (један од)



3Д модели високе прецизности

Делови модела

- ▶ Тло: еласто–пластично (Drucker-Prager, ојачање Armstrong-Frederick)
- ▶ Конструкција: линеарни и нелинеарни гредни елементи (влакна)
- ▶ Шипови: Нелинеарни гредни елементи (влакна)
- ▶ Две врсте тла, круто (сув песак) и меко (меке глине)
- ▶ Унос земљотреса у МКЕ модел → Domain Reduction Method

3Д модели високе прецизности

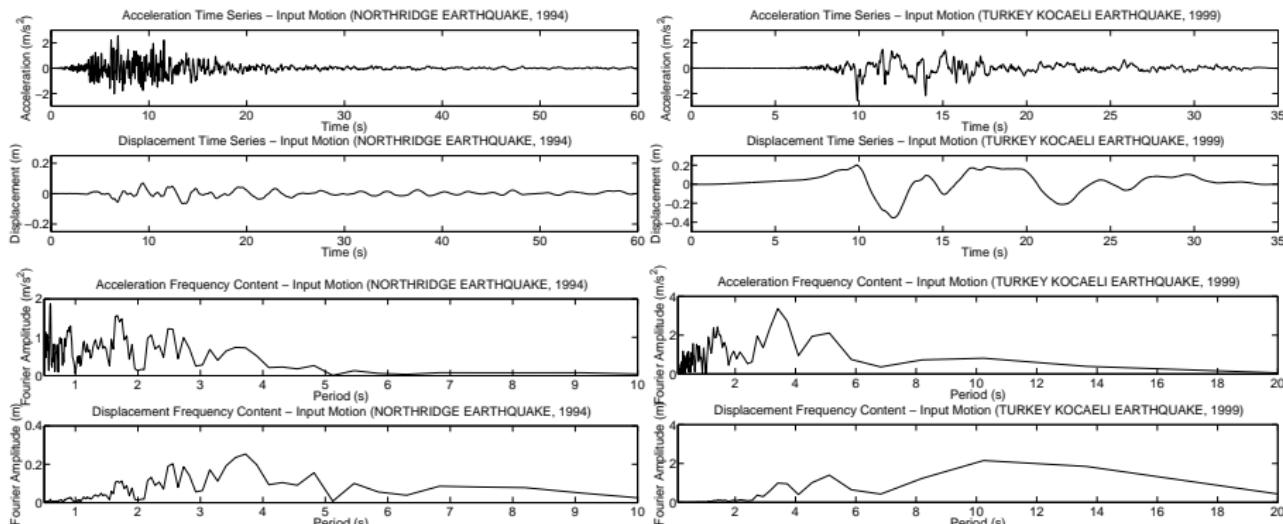
Детаљи моделовања

- ▶ "Изградња" модела
- ▶ Деконволуција мереног земљотреса на површини до стене у дубини
- ▶ Нема вештачког пригушења! (само пластичност и радијација, минимално нумеричко пригушење)
- ▶ Величине елемента \Rightarrow филтрирање фреквенција

elem. #	elem. size	f_{cutoff}	min. G^{ep}/G_{max}	γ
12K	1.00 m	10 Hz	1.0	<0.5 %
15K	0.90 m	>3 Hz	0.08	<1.0 %
150K	0.30 m	10 Hz	0.08	<1.0 %
500K	0.15 m	10 Hz	0.02	<5.0 %

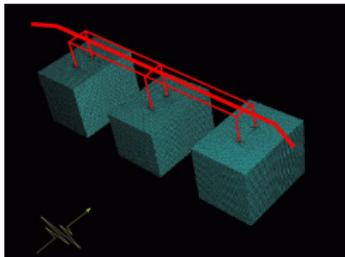
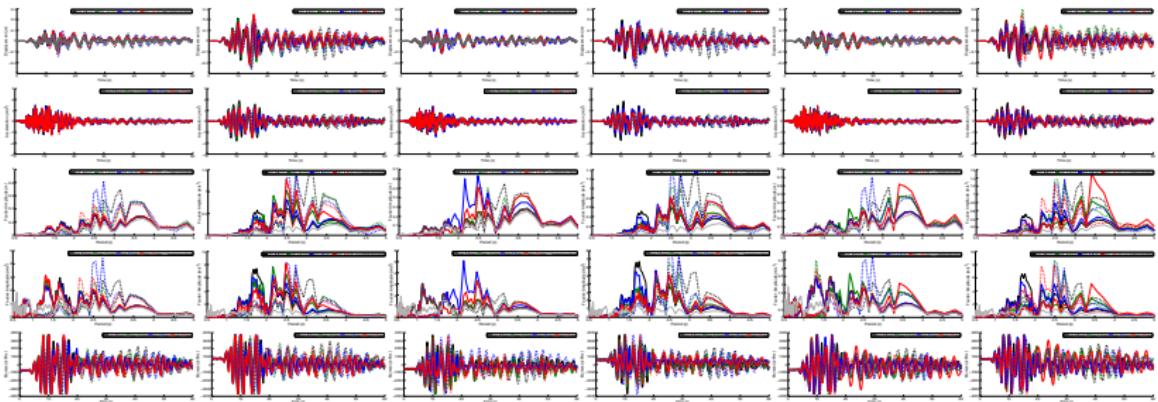
3Д модели високе прецизности

Northridge и Kocaeli земљотреси



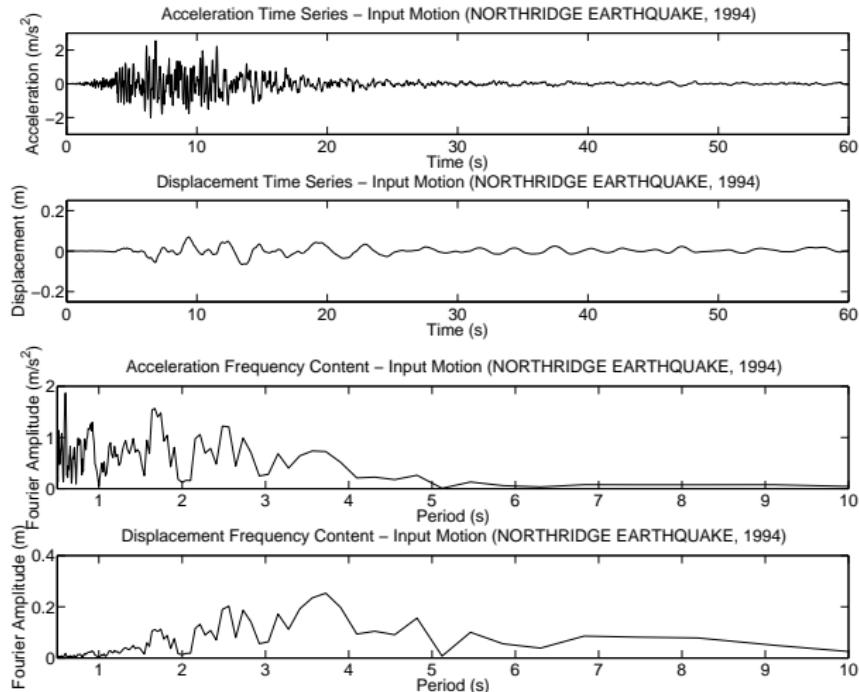
3Д модели високе прецизности

Резултати анализа



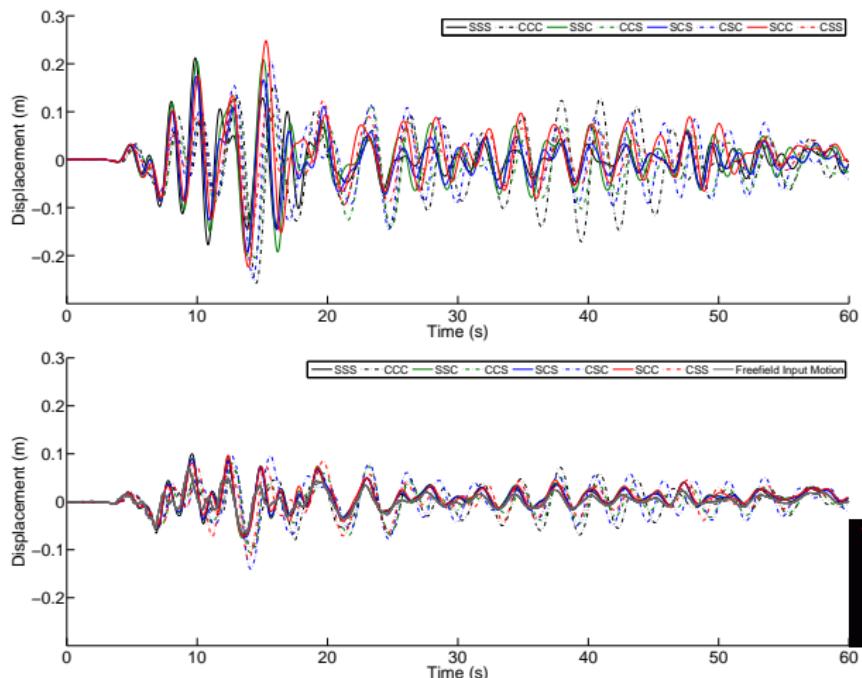
Понашање при земљотресима са кратким периодом

Northridge земљотрес



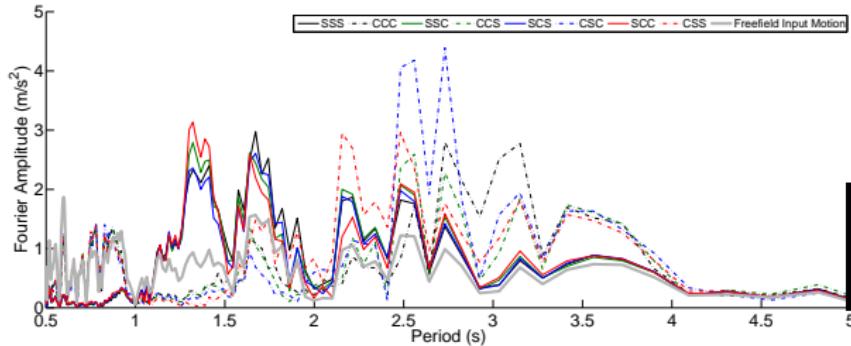
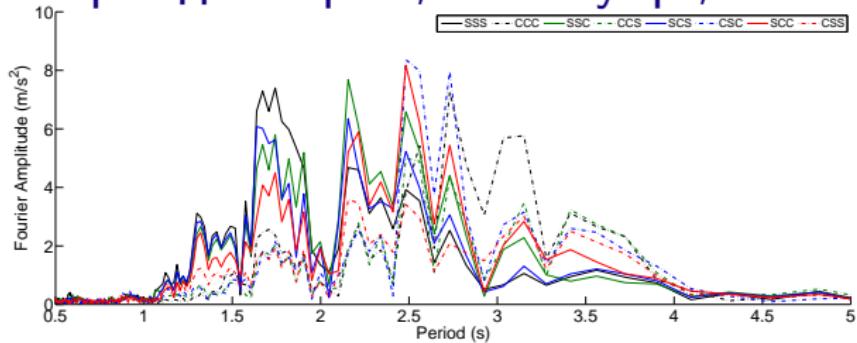
Понашање при земљотресима са кратким периодом

3. кратки период: л. рам, пом., конст. и тла



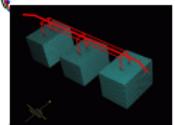
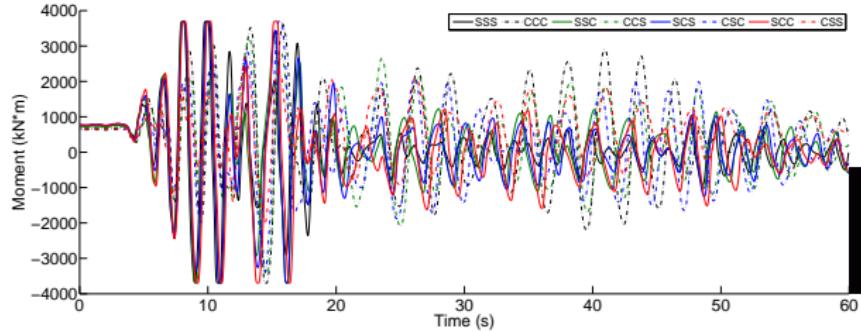
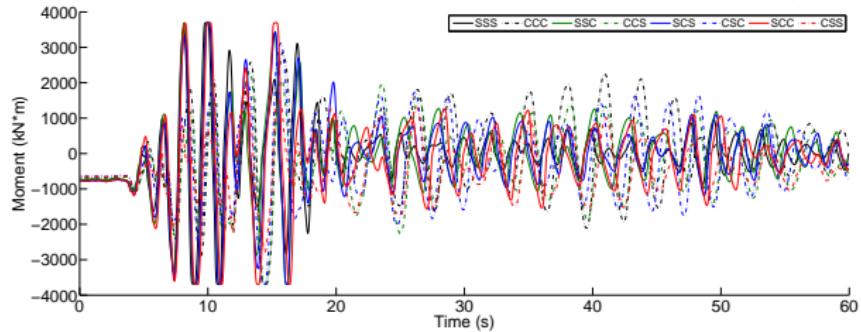
Понашање при земљотресима са кратким периодом

3. кратки период: л. рам, спек. убр., конст. и тла



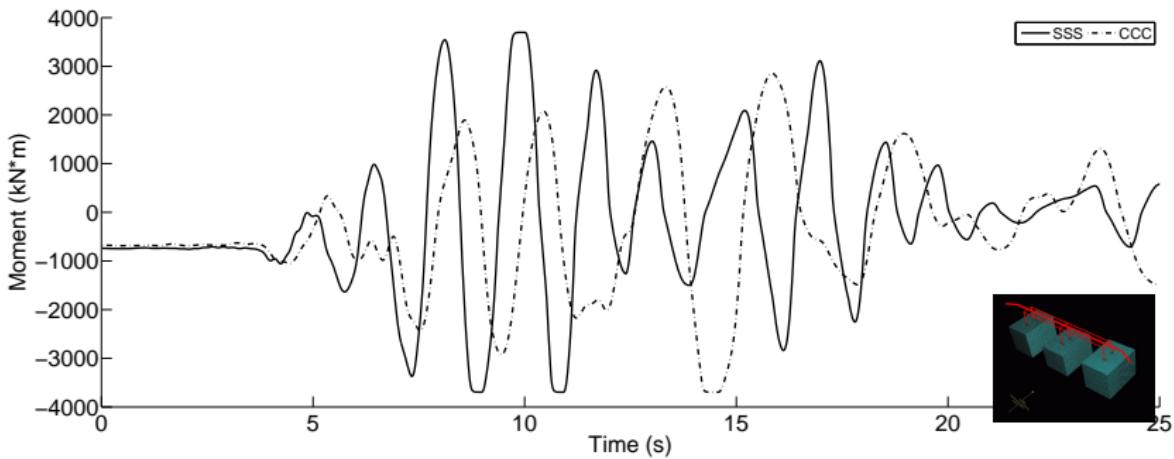
Понашање при земљотресима са кратким периодом

3. кратки период: л. рам, моменти савијања



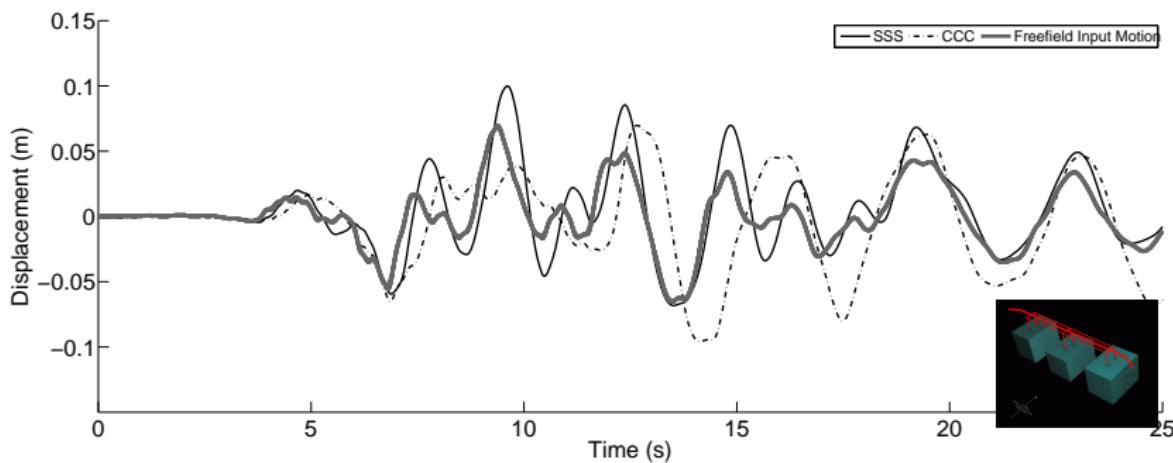
Понашање при земљотресима са кратким периодом

3. кратки период: л. рам, моменти, детаљ



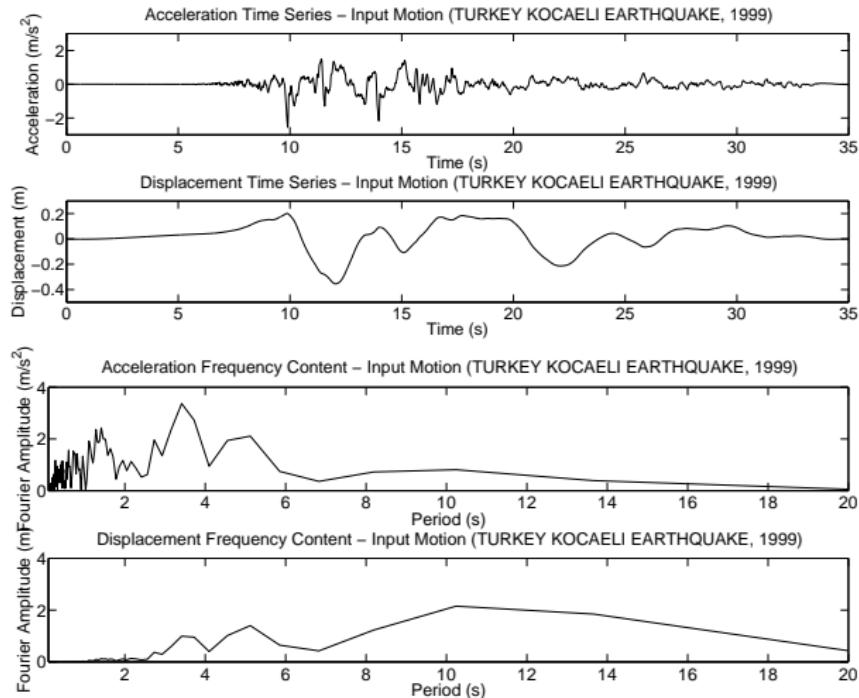
Понашање при земљотресима са кратким периодом

3. кратки период: померања без и са конст.



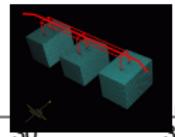
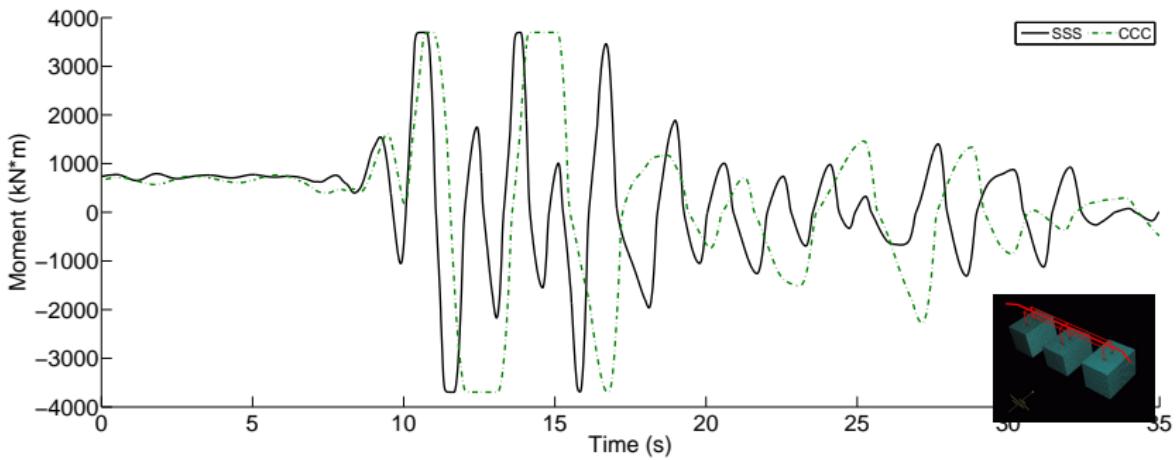
Понашање при земљотресима са дугим периодом

Kocaeli земљотрес



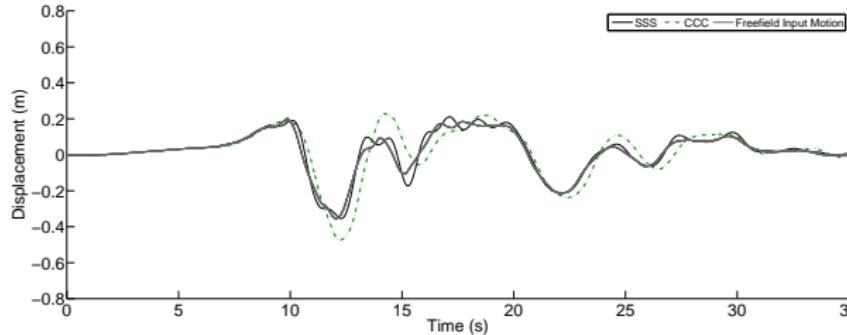
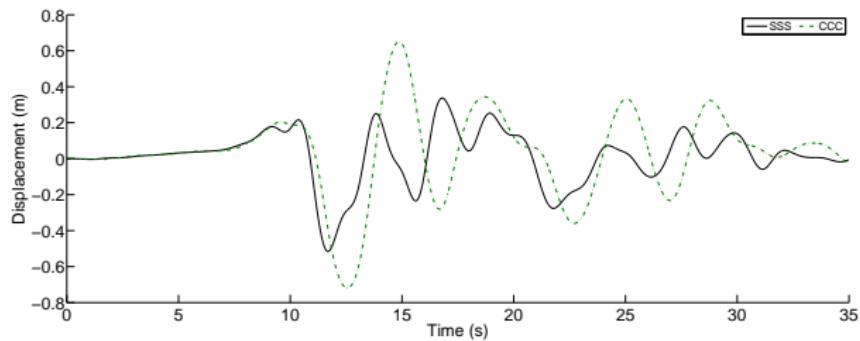
Понашање при земљотресима са дугим периодом

3. дуги период: л. рам, моменти савијања



Понашање при земљотресима са дугим периодом

3. дуги период: л. рам, пом., конст. и тло



Закључак

- ▶ Врло прецизни МКЕ модели за интеракцију земљотреса, тла и конструкције
- ▶ Развијена нова рачунарска технологија (методе, програми и рачунари)
- ▶ Динамичка интеракција три компоненте:
земљотреса, тла и конструкције контролише
понашање система ТК
- ▶ Програм(и), модели и остали детаљи се могу
наћи на сокоћалу

<http://sokocalo.engr.ucdavis.edu/~jeremic>