

Abstract

The goal of this work is to provide a versatile and rigorous multiresolution filtering mechanism for multivariate data having an underlying manifold structure. For common mesh models there are numerous possible solutions to choose from, but these do not simultaneously address the problems of approximation quality, feature preservation and downsampling artifacts reduction. Our solution balances out the compromises of previous methods by treating the data as a multivariate signal and applying an *invertible critically sampled lifting scheme*.

The framework introduced in this thesis extends a lifting scheme design, originally proposed for univariate graph signals, to multivariate mesh data. Our novel algorithm partitions the signal based on a heuristical ordering according to feature saliency. Opposed to normal graph downsampling, our method ensures that the manifold properties of the graph are preserved. Discrete *Laplacian*-like operators are then used to exploit local data redundancy via the *dual lifting* operation. A subsequent, *primal lifting* operation is responsible for reducing the downsampling artifacts. By storing the missing information as *detail* or *difference vectors*, we obtain a reversible process that allows for multiresolution editing and filtering.

We describe visual and numerical experiments using mesh data from public repositories, as well as *terrain data* derived from *LiDAR scans*. Our results confirm an up to 40% increase of the approximation quality measured by evaluating local distance errors and *root mean square errors* (RMSE). We also offer a detailed analysis of 7 different *scale-dependent feature descriptor* functions that can be used to further reduce the approximation error for model simplification and level of detail generation.

Our second, innovative contribution is the *nonlinear mean shift* algorithm implementation which improves upon other literature solutions both in terms of performance and Mathematical accuracy. We then complement this algorithm with the wavelet multiresolution framework to achieve plausible filtered results by drastically reducing the size of the problem. We thus advocate the use of this multiresolution filtering tool for scenarios where data sets consisting of several millions of points need processing.

Key words: wavelets, descriptors, scale, graphs, feature preservation, filtering, mean shift, lifting scheme, multivariate data

Rezumat

Scopul acestei lucrări este de a elabora un mecanism de filtrare potrivit pentru prelucrarea datelor multivariate, având *structură de variate discrete* (*discrete manifold structure*). Pentru modelele grafice obișnuite de tip *rețea* (*mesh*), există numeroase soluții compatibile, dar care nu satisfac, simultan, cerințele de a produce erori de aproximare reduse, de a păstra caracteristicile relevante și de a diminua efectele de dedublare.

Soluția pe care o propunem elimină compromisurile metodelor precedente tratând datele de intrare ca pe un semnal multivariat și aplicând o *schemă de elevare inversabilă cu eșantionare critică* (*critically sampled, invertible lifting scheme*).

Cadrul de lucru introdus în această teză extinde un design al schemei *lifting*, inițial propus în contextul semnalelor de tip graf univariat, pentru prelucrarea suprafețelor rețea multivariate. Algoritmul nostru partitionează semnalul folosind o sortare euristică bazată pe măsurarea caracteristicilor relevante ale rețelei. Spre deosebire de simplificarea obișnuită a grafurilor, metoda noastră asigură păstrarea proprietăților geometrice ale modelului. Folosind operatori de tip Laplace, redundanța locală este exploatată optim în cadrul fazei de elevare duală. Următoarea fază, cea de elevare primară, este folosită pentru reducerea reziduurilor rezultate în urma pierderii de

e, santioane. Stocând informația pierdută în formă de *diferențe vectoriale*, obținem un proces reversibil care permite editarea și filtrarea pe niveluri de rezoluție.

De asemenea, descriem o serie de experimente vizuale și numerice efectuate pe date obținute din surse publice, dar și pe date derivate prin *scanare LiDAR*. Rezultatele simulărilor confirmă o îmbunătățire de aproape 40% a preciziei de aproximare, măsurată prin evaluarea unei erori locale de distanță și a *errorii medii pătrate* (RMSE).

În vederea reducerii erorii de aproximare, prezentăm 7 funcții *descriptoare de caracteristici* dependente de scară, utile pentru ghidarea algoritmilor de simplificare și de generare de rezoluții intermediare.

O altă contribuție din lucrarea de față constă în elaborarea și implementarea unui algoritm de *translatăre neliniară la medie* (*non-linear mean shift*), care prezintă performanțe superioare și are un fundament matematic mai riguros comparativ cu alte implementări din literatura de specialitate. Acest algoritm de filtrare poate fi complementat de metoda de filtrare și editare multirezoluție dezvoltată deoarece aceasta din urmă reduce dimensiunea setului de date de intrare. Așadar, recomandăm folosirea acestor unelte de prelucrare multirezoluție pentru procesarea unor mulțimi

Acknowledgements

de ordinul milioanele de puncte sau chiar maimari.

Cuvinte cheie: undine, descriptori, scara, grafuri, pastrarea caracteristicilor, filtrare, translatăre la medie, schema de elevare, date multivariate