Počítačová simulace šíření zvuku

Computer Simulation of Sound Propagation

Vladimír Arnošt*

Abstract

This paper describes a newly researched method of sound wave propagation simulation in closed volumes. The method is based on already known algorithms used in computer graphics (ray casting, etc.), but instead of dealing with single rays the method uses cones of sound. The computation can be made faster because sound cones can span over broader parts of space than rays and thus a relatively small number of cones is sufficient. The suggested algorithm and some possible ways of its implementation are discussed here.

Úvod

Cílem této práce je vytvoření systému, který by na základě prostorové geometrie určil přenosovou funkci $H(\omega)$ mezi zdrojem zvuku a posluchačem. Tato funkce by mohla být aplikována na signál vycházející z virtuálního zdroje zvuku (např. tikající hodiny) a posléze přičtena k signálu přiváděnému k virtuálnímu posluchači. Pokud by došlo ke změně geometrie prostoru nebo k posunutí zdroje či posluchače, bylo by nutné znovu provést výpočet přenosové funkce $H(\omega)$, respektive jejího nejběžnějšího vyjádření: impulsní odezvy $h(t)$.

Různá zařízení pro tvorbu prostorového zvuku se v posledních letech objevují i na počítačích typu PC. Jedná se obvykle o zvukové karty výrobců Aureal, Creative Labs, a dalších. Tyto karty obvykle plně nevyužívají znalosti geometrie prostoru z důvodu přílišné časové náročnosti potřebných výpočtů.

Výpočet metodou šíření paprsků

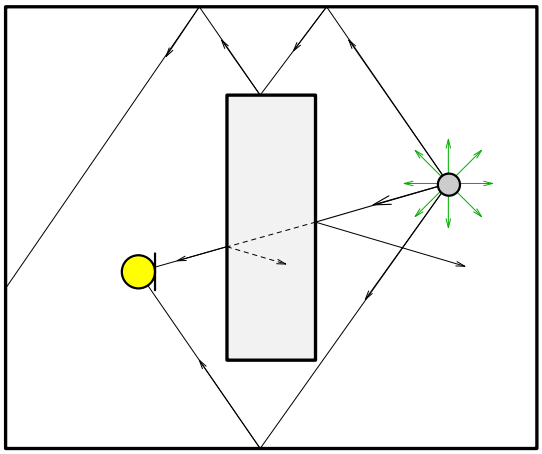
Tato metoda je analogická k metodě vrhání paprsků používané v počítačové grafice. Zdroj zvuku vysílá *zvukové paprsky* do všech možných směrů. Paprsky se po dopadu na zdi odrážejí, ztrácí část energie a může dojít ke změně spektra přenášeného

* Ing. Vladimír Arnošt, Ústav informatiky a výpočetní techniky, FEI VUT Brno, Božetěchova 2, 612 66 Brno tel.: 05/4114 1282 fax.: 05/4114 1270 E-mail: arnost@dcse.fee.vutbr.cz

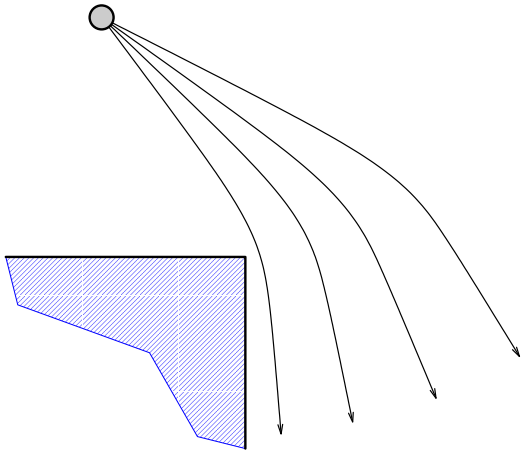
zvuku. Paprsky se mohou též lomit a vnikat do zdí. Tím rovněž dojde k jejich změně. Každý paprsek s sebou nese informaci o prošlé trajektorii a o tom, jak se během ní změnil z původně vyslaného paprsku (útlum, zpoždění, změna spektra, apod.). Tyto informace se využijí k určení příspěvku impulsní odezvy $h(t)$ daného paprsku.

Metoda šíření paprsků je poměrně jednoduchá (Obr. 1), ale má velmi vysokou časovou náročnost pokud začneme vyžadovat vyšší počet odrazů paprsků. Při každém odrazu se může počet paprsků zdvojnásobit (odraz a lom). Navíc je většina paprsků počítána zbytečně, protože jich většina mine místo, kde se nachází posluchač. Rovněž není snadné provádět simulaci šíření paprsků za překážky (ohyb za roh), ačkoliv se tak skutečný zvuk normálně šíří (Obr. 2).

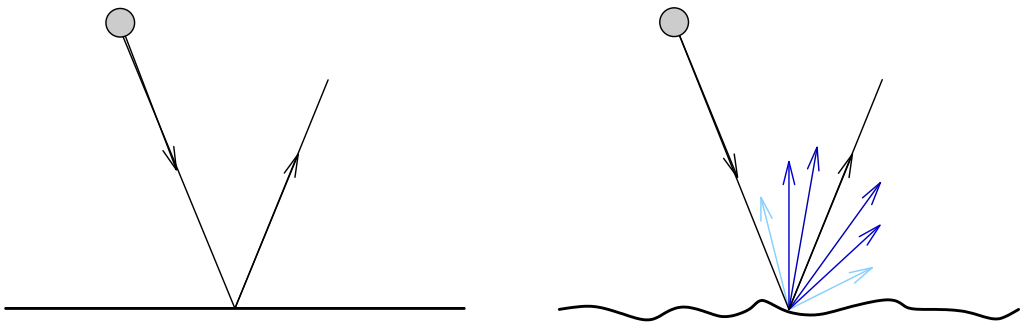
Zvuk se může odrazit buď zrcadlově nebo difúzně (s rozptylem) (Obr. 3). Difúzní odraz umožňuje určité *změkčení* zvuku při jeho odrazu, neboť se zvuk začne šířit více směry a díky tomu dorazí k posluchači z různých směrů s různým zpožděním. Tím se zvyšuje jeho přirozenost, neboť lidský sluch předpokládá rozptyl zvukových vln během jejich šíření prostorem.



Obr. 1: Zákryt a odraz paprsku zvuku od překážky



Obr. 2: Ohyb zvukových paprsků za překážkou

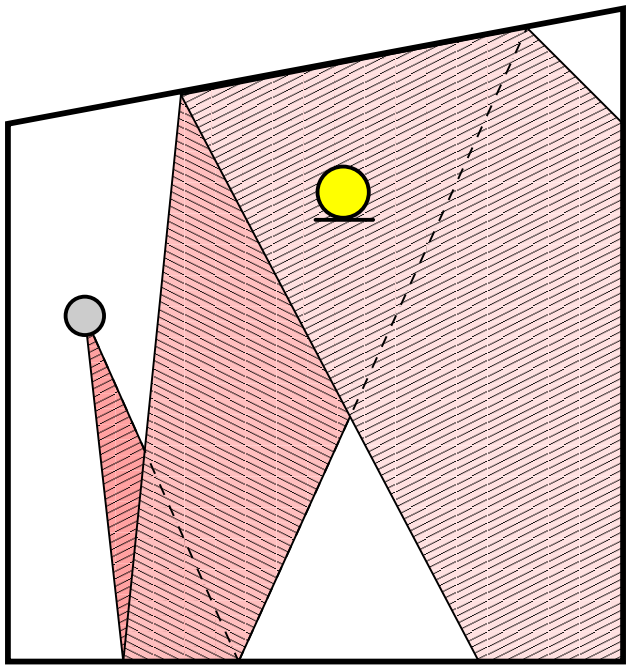


Obr. 3: Zrcadlový a difúzní odraz zvukového paprsku

Metoda šíření zvukových kuželů

Tato metoda vychází z metody šíření paprsků, ale místo paprsků (polopřímek) používá kužely pro pokrytí celého simulovaného prostoru. Výhodou je, že kužely mohou vyplnit celý prostor bez mezer, takže nedochází k problémům s tím, že paprsky často bez užitku těsně minou pozici posluchače. Pokud se posluchač nachází kdekoliv uvnitř daného kuželu, lze snadno určit příspěvek kuželu k impulsní odezvě $h(t)$ bez nutnosti počítat dráhy všech možných paprsků.

Rovněž počet kuželů může být podstatně menší než u předchozí metody. Místo tisíců paprsků stačí vyslat řádově desítky kuželů, které zajistí plné pokrytí prostoru. Rychlost simulace se tímto způsobem může rapidně zvýšit.



Obr. 4: Příklad šíření kuželů jednoduchým prostorem

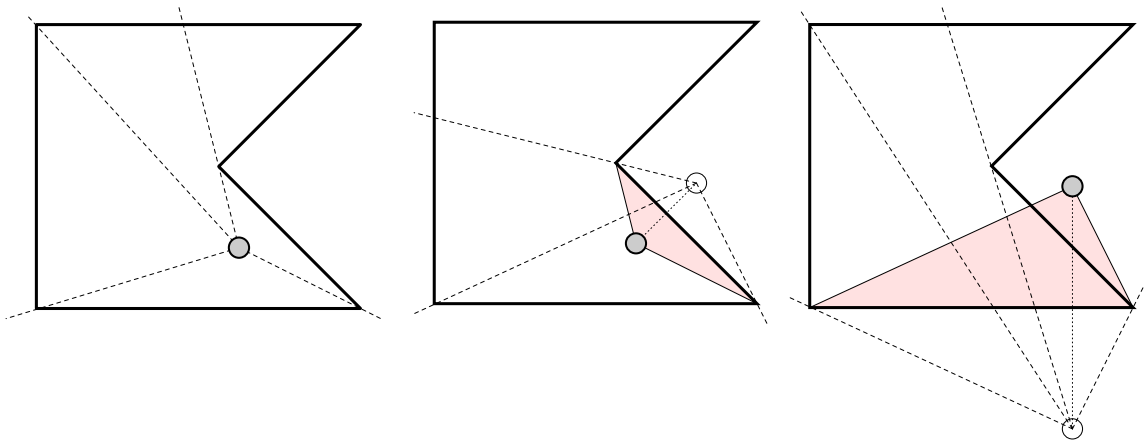
Kužely se při simulaci odráží podobně jako paprsky (Obr. 4) s tím rozdílem, že při dopadu kuželu na více stěn se kužel rozdělí na odpovídající počet nově odražených kuželů (Obr. 5). Tento postup se opakuje až do dosažení maximálního počtu odrazů nebo do poklesu energie přenášené kuželem pod stanovenou mez.

Mezi hlavní nevýhody metody patří složitější algoritmus, který musí řešit náročnější problém viditelnosti stěn z kužele, dělení kužele na části při odrazech od složitějších stěn, atd. Metoda se zatím vyvíjí pro dvojrozměrné prostory a zatím není jasné jakým způsobem budou kužely reprezentovány v trojrozměrném prostoru. Mohou být vždy obdélníkové anebo mohou být obecně nepravidelným n-bokým jehlanem.

Stejně jako při simulaci šíření paprsků i při šíření kuželů dochází k exponenciálnímu nárůstu jejich počtu. Naštěstí je počáteční množství kuželů běžně o několik řádů nižší, takže nárůst jejich počtu není příliš limitující faktor.

Výsledkem simulace šíření kuželů je impulsní odezva, která charakterizuje cestu, kterou zvuk urazí mezi zdrojem a posluchačem. Odezva se mění pokud se zdroj nebo

posluchač posunou. Impulsní odezvu je možné použít k výpočtu konkrétního průběhu zvuku jak by ho slyšel posluchač. Stačí provést diskrétní konvoluci mezi zvukem vycházejícím ze zdroje a impulsní odezvou. Bohužel, impulsní odezva získaná simulací obsahuje často přes 100000 vzorků, takže konvoluci signálu není možné na běžném vybavení provádět v reálném čase. Proto je nutné hledat jiný přístup k výpočtu výsledného zvuku.



Obr. 5: Tři kroky algoritmu výpočtu šíření zvukových kuželů v prostoru

Závěr

Zde prezentovaná metoda umožňuje určení impulsní odezvy $h(t)$ při šíření zvuku v prostoru ve směru zdroj $\rightarrow$ posluchač. Efektivita výpočtu může být podstatně vyšší díky menšímu počtu simulovaných kuželů oproti paprskům. Nevýhodou je vyšší složitost algoritmu. V současné době je metoda rozpracována pro dvourozměrné modely, v budoucnu se počítá s rozšířením simulačního algoritmu na plně trojrozměrný model. Na dokončení funkčního simulačního systému se pracuje.

Literatura

[1] Funkhouser, T.; Min, P.; Carlbom, I.: Real-Time Acoustic Modeling for Distributed Virtual Environments. Computer Graphics (SIGGRAPH 99 Proceedings), Addison-Wesley, ISBN 0-201-48560-5, 1999, p. 365–374

[2] Kolmer, F.; Kyncl, J.: Prostorová akustika. SNTL, Praha, 1982.

[3] Sporka, A. J.: Nejen grafika je 3D (Principy vzniku a vnímání prostorového zvuku). CHIP 7/1999, p. 56–57, CHIP 8/1999, p. 52–55, ISSN 9771210068005, Vogel Publishing, Praha, 1999.