Kolozsvár, 1998. március 20-21.

Az elektromos tér beltéri terjedésének számítógépes modellezése ray-tracing algoritmusokkal

Szerzők: Vulkán Csaba, Farkas Lóránt

Abstract

In this paper we present a ray-tracing algorithm to predict the electrical field propagation inside buildings. This algorithm is a deterministic approach to UHF, VHF propagation modelling in picocells. We implemented this algorithm on PCs in C++ and Visual Basic programming languages. The results of simulations can be visualised with the graphic user interface implemented by us on Windows'95. This program is also implemented on DOS environment. The program gives a good designing tool for wireless LAN and mobile communications systems designers by allowing the designment of these systems based only on virtual databases. The usefulness of this method is for governmental buildings, plants, campuses, hospitals and other indoor environments where mobile and wireless communications are a necessity.

1. A terjedési közeg modellezése

Az épületet leíró adatbázisnak tartalmaznia kell az összes, az elektromos tér terjedéséhez szükséges adatot. Ezért az épületeket vektoriális modell segítségével írtuk le. Ez a modell 2 dimenziójú karteziánus koordináta-rendszeren alapszik. Minden objektumot (fal, ablak, ajtó) koordinátpárokkal ír le: egy pontot egy koordináta, egy szakaszt két koordináta, egy poligont egy koordinátsor határoz meg. Az adatbázist szövegállomány tartalmazza, ahol minden egyes sor egy objektumnak felel meg. Az objektumokhoz hozzárendeltük az anyag elektromos paramétereit (permittivitás, permeabilitás).

2. Az elektromos tér terjedésének modellezése

Az elektromos tér terjedésének modellezésére gyakran használják az ún. ray-tracing algoritmusokat, mivel egy determinisztikus, egzakt modellezés a Maxwell egyenletek megoldásával gyakorlatilag lehetetlen a számítások komplexitása, a határfeltételek felállításának bonyolultsága és a szükséges műveletek száma miatt [1].

A ray-tracing algoritmusok egy jó megközelítést tesznek lehetővé az optikai geometria törvényeinek alkalmazásával. A hullámhossz csökkenése az elektromágneses tér a fény terjedésére jellemző tulajdonságokat vesz fel. A geometriai optika bevezeti a sugár fogalmát, mely a pontszerűnek feltételezett

adótól a vevőig egyenes vonalban terjed; a terjedési közegeket elválasztó felületet síknak és homogénnek feltételezi. A bázisállomás antennáját izotrópnak feltételezve, amely szférikus hullámokat gerjeszt, egy pontban az elektromos tér intenzitása a következő képlettel írható le:

$$E(s) \cong e^{j\varphi_0(s)} E_0(0) \frac{\rho}{\rho + s} e^{-j\beta s} \quad (1)$$

ahol az első tag az elektromos térerősség értéke a kiinduló pontban, a tört a csillapítási tényező és az utolsó tag a fázis. Visszaverődés esetén a tér feloszlik visszavert és áthaladó komponensekre. A visszavert (2) illetve áthaladó (3) komponens intenzitását a következő képletek adják meg (a Q pont a visszaverődési pont):

$$E'(s) \cong E'(Q) R \frac{s'}{s' + s} e^{-j\beta s} \quad (2) \quad E'(s) \cong E'(Q) T \frac{s'}{s' + s} e^{-j\beta s} \quad (3)$$

ahol s a kiinduló ponttól (vagy Q ponttól) számított távolság, s' a sugár által megtett út a Q pontig és ρ a közeli tartomány határa. A visszavert sugár irányát a Snell törvényekkel lehet meghatározni. Az elektromos tér intenzitásának effektív értéke egy visszaverődés után a visszaverődési és a transzmissziós tényező értékétől függ. Ezek értékét viszont a beesési szög, az elektromágneses hullám polarizációja (a mi esetünkben vertikális), a közeg elektromos permittivitása határozza meg. A reflexiós és a transzmissziós együtthatókat a Fresnel egyenletek adják meg [2]. Abban az esetben, ha a sugár ritkább közegből sűrűbbe hatol, a Fresnel-egyenletek a következő formára redukálódnak [3]:

$$R = \frac{-(\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda)\cos\theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda - \sin^2\theta_i}}{(\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda)\cos\theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda - \sin^2\theta_i}} \quad (4)$$

$$T = \frac{2\sqrt{\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda} \cos\theta_i}{(\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda)\cos\theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma_2\lambda - \sin^2\theta_i}} \quad (5)$$

ahol ϵ_r a relatív elektromos permittivitás, λ a hullámhossz, σ a konduktivitás, θ_i a beesési szög.

3. Az alkalmazott ray-tracing algoritmus

Az általunk használt szimulációs modellt ray-splitting algoritmusnak nevezik és először DJ Chicon alkalmazta [4], hogy meghatározza a rádiófrekvenciás csatorna csillapítását és a csatorna súlyfüggvényét. A modell előnye, hogy kevésbé számításigényes más algoritmusokkal szemben és az, hogy a térbeli felbontás állítható. Mi ezt az algoritmust kisebb módosításokkal az elektromos térrel való lefedettség megvizsgálására és az elektromos tér intenzitásának az épület minden pontjában való predikciójára használtuk. Az algoritmus a következő lépésekből áll:

1. Az épület alapterületét felosztja egy pixelmátrixra, a karteziánus koordináta-rendszerben. A felbontást tetszőlegesen lehet állítani, az adóból kiinduló sugarak száma függvényében.

2. Az adóból sugarakat indít el, amelyek egyenletesen oszlanak el a $0-2\pi$ tartományban (1. ábra). Minden sugárhoz egy nyaláb tartozik, melynek nyílásszöge a sugarak számától függ. A sugarakat egy adott reflexiószámig követi az algoritmus. Visszaverődéskor minden sugár szétválik egy áthaladó és egy visszavert komponensre. A sugarak terjedése egy bináris fával ábrázolható (2. ábra).

3. Az algoritmus kiszámítja az elektromos tér intenzitását

vektoriális formában minden olyan pixelben, amelyet a követett sugár nyalábja lefed. Azt, hogy mikor van lefedve egy pixel, a pixel középpontjának a sugártól számított távolsága és a nyaláb szélessége az adott pontban határozzák meg.

Ha a távolság kisebb, mint a nyaláb szélessége, akkor a pixel a nyaláb belsejében van (3. ábra). A térerőt a fenti képletek segítségével számítja ki.

Mivel a tér intenzitását egy adott pixelben a pixel középpontjából a sugár irányára húzott

3. ábra

nyaláb nyílásszögének értékétől függ (β). Ha a pixelt több sugárnyaláb fedi le, a térerősség értékét vektoriális eredőként származtatjuk.

4. Eredmények és kiértékelés

A szimuláció eredményeit hét reflexió esetén egy adott épületre a 4. ábra mutatja be. Az ábrán jól látható az elektromos tér hullámtermészete és a közeg csillapítása a megtett út függvényében. Az 5. ábrán ugyanarra az épületre három reflexióig, egy sugárra végeztük a szimulációt. Itt jól követhető a falon való áthatolás után az elektromos tér csillapodása, a visszavert sugarak és a direkt sugarak közötti interferencia következtében létrejövő állóhullámok.

2. ábra

merőleges talppontjában számított értékkel köze-lítjük, az így nyert adatok hibahatára a következő képlettel számítható:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{\cos \beta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} s \left(1 - \frac{1}{\cos \beta} \right)} - 1 \quad (6)$$

ahol a hiba, amint a képletből is látszik, a

A bemutatott modell egy hatékony eszköz egy épület belsejének elektromos térrel való lefedettsége predikciójára. A modell előnye, hogy egy, a bázisállomásból kiinduló sugarat csak egyszer kell végigkövetni és a szimuláció végén egy predikciós mátrix építhető fel, amely az egész épületre tartalmazza a lefedettségi mértéket. Ezt grafikusan (4., 5. ábra) is ki lehet értékelni, így a tervező hamar képet tud alkotni a lefedettség fokáról. A végeredmény pontossága érdekében egy speciális splitting algoritmust is beépítettünk, mely a nyalábot két újabb nyalábra osztja fel, ha ennek szélessége meghalad egy állítható értéket.

A program a ray-tracingses szimuláción kívül néhány empirikus alapon kifejlesztett módszer felhasználásával egy gyors, kezdeti kiértékelést és a módszerek optimális felhasználását is lehetővé teszi.

4. ábra

5. ábra

6. Irodalomjegyzék

- [1] Thomas Huscha: "Ray Tracing Models for Indoor Environments and their Computational Complexity", PIMRC '94, 1994, p. 486-490
- [2] C.A. Balanis: "Advanced Engineering on Electromagnetics", John Wiley & Sons, Inc., USA 1989, p.181-765
- [3] N. Papadakis, T. Sofos, P. Hatzopoulos, Dr. P. Constantinou: "Material Characterisation", IEEE, 1994, p.1771
- [4] D.J. Chicon, W. Wiesbeck: "Indoor and Outdoor Propagation Modelling in Pico Cells", IEEE, PIMRC '94, p.490-495

Vulkán Csaba okl. villamosmérnök,
4300 Marosvásárhely, 1848-as Sgt. 27/28
Tel: 065-168319

Farkas Lóránt okl. villamosmérnök
Pandurilor Sgt. 62/14
Tel/fax: 065-255393