

Energiahatékony mobilitás biztosítása időosztás-alapú vezeték nélküli hálózatokban

Zachár Gergely
Rendszer- és Számítástudományi Tanszék
Pannon Egyetem
Veszprém
zachar@dcs.uni-pannon.hu

Simon Gyula
Rendszer- és Számítástudományi Tanszék
Pannon Egyetem
Veszprém
simon@dcs.uni-pannon.hu

Absztrakt—Szenzorhálózatos alkalmazásokban gyakori megoldások az időosztásos (TDMA-alapú) ütemezések, amelyek valós idejű és energiahatékony megoldásokat adnak mind a közeghozzáférés, mind az útvonalválasztás problémáira. A TDMA alapvetően statikus hálózatokhoz illeszkedik, a mobil elemeket tartalmazó TDMA hálózatok jelentősen bonyolultabbak és nagyobb az energiafogyasztásuk. Számos esetben azonban ez a járulékos komplexitás növekedés nem szükségszerű: a javasolt megoldásban egy többnyire statikus (pl. érzékelő-) hálózatot egészítünk ki korlátozott mobil szolgáltatásokkal (pl. monitorozó eszköz). A javasolt megoldás számos gyakorlati alkalmazásban elegendő és – a teljes mobilitást biztosító szolgáltatásokkal ellentétben – nagyon kicsi járulékos többletköltséggel megvalósítható.

Kulcsszavak - szenzorhálózat; szolgáltatások; energiahatékonyság, mobilitás

1. BEVEZETÉS

A szenzorhálózatokban rendkívül fontos a minél hosszabb élettartam, így számos megoldás született az energiahatékony működés biztosítására, mindezt akár a hardver (pl. különböző részegységek lekapcsolása), akár a szoftver szintjén megvalósítva. A közeghozzáférési rétegben alkalmazott egyik leghatékonyabb megoldást az időosztásos (Time Division Multiple Access; TDMA) alapú rendszerek jelentik.

A TDMA egy közismert időosztás alapú közeghozzáférési mód, amit széles körben használnak szenzorhálózatok esetében is. A TDMA módban működő hálózat esetén az ütközések elkerülése, valamint egy adott eszköznél pontosan ismert, hogy melyik időpillanatban adhat. Ezáltal szükségtelessé válik a csatorna hallgatása, így - az ütemezés alapján - csak az adás és a vétel idejére kell ébren lennie, a működési periódus nagy részében az eszköz aludhat. Ezzel a módszerrel jelentős mennyiségű energia takarítható meg.

A TDMA alapú közeghozzáférés hátrányai, hogy globális időszinkronizáció szükséges, valamint a hálózat mérete igen nehezen változtatható dinamikusan. Azonban esetenként szükséges lehet, hogy egy új eszköz csatlakozzon a hálózatra. Erre egy autonóm biztonsági rendszer adhat jó példát [7], ahol az idő legnagyobb részében a hálózat az előre megadott ütemezés alapján működik, de néha a személyzet egy mobil eszközzel csatlakozni kíván a rendszerhez, Például az őr a riasztás után, az épületbe érkezve, meg szeretné tudni, hogy hol történt az esemény, illetve beavatkozhat vagy nyugtázhathatja a jelzést. A TDMA alapú megoldásokban problémát jelent, hogy az eszközök csak az ütemezésben megadott időben elérhetőek, és ebben az esetben is a saját kommunikációjuk zajlik. Így ezekben az időszakokban nem kezdeményezhető kommunikáció ütközés nélkül.

Jelen tanulmány egy gyakorlati megoldást mutat be az előbb felvázolt problémára, amely lehetővé teszi egy külső mobil eszköz ideiglenes csatlakozását egy TDMA alapú hálózathoz. Ezzel olyan ritkán előforduló feladatokat valósít meg energiahatékonyan, mint például a karbantartás, naplók letöltése, parancsok kiadása és egyéb hasonló jellegű interakciók.

A működés lényege a következő: a mobil eszköz szinkronizál a hálózattal úgy, hogy belehallgat az átlagos TDMA üzenetekbe, majd egy ébresztési üzenetet küld a kiválasztott eszköznek, az erre a célra létrehozott, rendkívül rövid időszelvényben. Ezen időszelvényben minden eszköz felébred, hogy ellenőrizze az ébresztési kérés érkezését, majd visszaalszanak a kiválasztott eszköz kivételével. Ezután egy kézfogás alapú protokoll segítségével megindul a kommunikáció a mobil eszközzel. Mivel a precíz szinkronizáció miatt az ébrenléti idő rendkívül kicsi lehet, ezért a mobil szolgáltatáshoz szükséges többletfogyasztás a mobil kommunikációban nem résztvevő eszközök számára minimális.

A szenzorhálózatokban egyaránt elterjedtek a versenyen alapuló (pl. CSMA, RTS/CTS) és ütemezés alapú (TDMA) közeghozzáférési protokollok. A verseny alapú protokollok előnye a rugalmasság, azonban az energia felhasználásuk kevésbé hatékony, továbbá nem garantálják a válaszidőt. A TDMA alapú protokollokban a kommunikáció előre meghatározott időszelvényekben zajlik, ezáltal garantálva az ütközés mentességet és a valósidejű kommunikációt. A hatékony TDMA protokollok a hallgatást is elkerülik, ezáltal rendkívül energiahatékony rendszereket lehet létrehozni.

A TDMA hátrányai között a legtöbbször a kihasználatlan időszelvényeket említik, ami az ütemezés által csökkenti a kihasználható sáv szélességet és növeli a fogyasztást [1]. Továbbá előfordulnak olyan protokollok (pl. S_MAC [2]), amik kihasználják a versenyen alapuló és az időosztásos közeghozzáférés előnyeit.

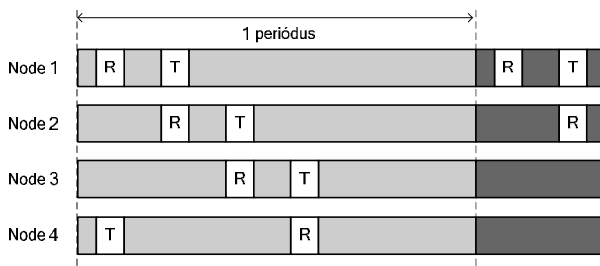
A TDMA az előnyös tulajdonságai miatt - hátrányai ellenére - egyedülálló módon alkalmas olyan valósidejű alkalmazásokban, ahol szükséges a garantált késleltetés állandósága és a válaszidő, továbbá ahol az energiafogyasztás kritikus jelentőségű. Egy ilyen rendszert mutat be [3], ami energia hatékonyan és skálázhatóan képes monitorozni korallzationyokat. A GWMAC [4] pedig egy TDMA alapú protokoll, amit kifejezetten a gleccserek felmérésére használt hálózathoz terveztek.

A 2. fejezet a javasolt megoldást, míg a 3. fejezet annak implementációját mutatja be. Végül a 4. fejezet összefoglalja a tapasztalatokat és eredményeket.

2. MOBILITÁS TDMA ALAPÚ HÁLÓZATOKBAN

A. A TDMA üzemmód

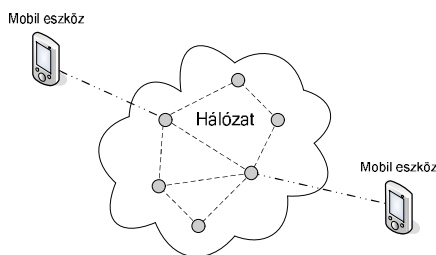
Az 1. ábrán egy négy eszközből felépülő hálózat egy lehetséges ütemezése látható. Érdemes megfigyelni, hogy a kommunikáló eszközök vételi (R) és adási (T) ideje pontosan egybeesik. Ezáltal elkerülhető a felek számára a felesleges hallgatás, valamint az összeütközés is. A megfelelő időzítéshez időszinkronizáció szükséges az egyes eszközök között, ami az üzenetekben küldött időbélyegek segítségével lehetséges, például [5] szerint.



1. ábra Kommunikáció a TDMA alapú hálózatokban

B. Mobil szolgáltatás

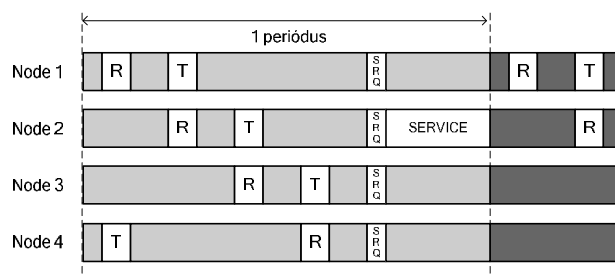
Ahhoz, hogy lehetőség nyíljon egy időszakos kapcsolat kialakítása egy mobil eszköz (pl. laptop, PDA) és egy TDMA hálózat között, a mobil eszköznek a hálózaton belül egy kiválasztott eszközhöz kell kapcsolódnia, és azon keresztül kell elvégezni a szükséges beavatkozásokat. Ez az eset látható a 2. ábrán.



2. ábra Mobil eszköz csatlakoztatása TDMA alapú hálózathoz

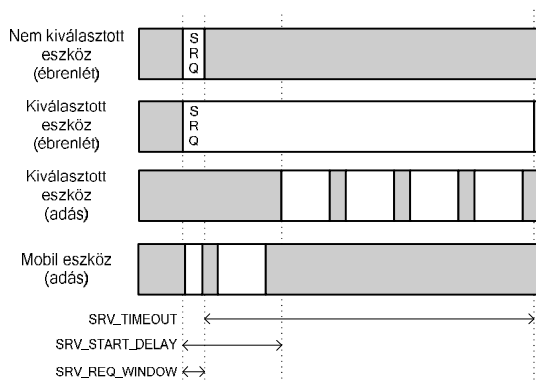
A TDMA ütemezésben ezért minden node esetében szerepel egy időablak, ami a mobil eszközzel való kommunikáció számára van fenntartva. Ez az időszelvény a 3. ábrán látható (SRQ + SERVICE). Az energiatakarékosság miatt minden node csak egy nagyon rövid időre ébred fel, amikor a mobil eszköz küldhet egy mobil szolgáltatást kérő üzenetet (service request, SRQ) a kiválasztott eszközhöz. Ezután az összes node visszaalszik a megszólított eszközön kívül. Ezután a mobil eszköznek lehetősége van adatokat küldenie és fogadnia, egészen az ütemezésben meghatározott ideig.

Fontos, hogy bár az SRQ üzenetre várakozás nagyon rövid ideig tart, az egyes eszközöknek nem mindig szükséges kivárniuk a teljes időszelvény hosszát. Abban az esetben, amikor a mobil eszköz ad, az üzenet végéig ébren kell maradniuk, viszont amennyiben nem érzékelnek adást, hamarabb elaludhatnak. Így ha nem található mobil eszköz a hálózatban a mobil szolgáltatáshoz felhasznált energia minimális.



3. ábra Mobil szolgáltatás a TDMA alapú rendszerben

A szerviz időszel első része a mobil eszközről a hálózatba indított kommunikációnak van fenntartva, tipikusan parancsoknak és paramétereknek, ahogyan az a 4. ábrán látható. A szerviz időszel további részében a kiválasztott node küld adatokat a mobil eszköznek, akár több csomagban is. A kommunikáció egészen a szerviznek fenntartott időablak végéig tart, ami szükség esetén folytatható a következő periódusban található szerviz időszelben. Fontos megjegyezni, hogy amennyiben a kommunikáció az idő lejártá miatt félbe maradt, akkor a következő periódusban már nem szükséges az SRQ üzenet elküldése, valamint ez a mechanizmus a felsőbb szoftver rétegek előtt teljesen el van rejtve. A 4. ábrán az SRV_REQ_WINDOW az SRQ üzenet hosszát, az SRV_TIMEOUT a szerviz időszel hosszát és az SRV_START_DELAY a hálózat felé irányuló kommunikáció hosszát mutatja. Érdeemes megfigyelni, hogy a kommunikáció mester-szolga alapú, a kapcsolatot mindig a mobil eszköz kezdeményezi az SRQ üzenet elküldésével.



4. ábra Működés a szerviz időszelben

3. MEGALÓSÍTÁS SENZORHÁLÓZATOKBAN

A. Szoftver működés a TDMA alapú eszközön

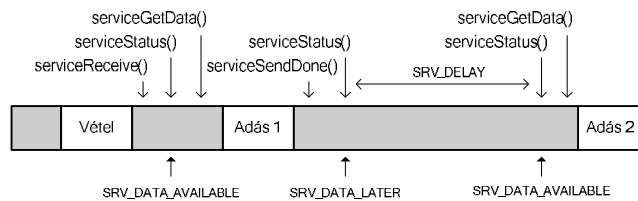
Ebben a fejezetben részletes bemutatásra kerül az eddigiekben bemutatott módszer szoftveres implementációja, amit NesC programozási nyelven TinyOS alatt került megvalósításra [6].

A javasolt szolgáltatás megvalósításához egy interfész implementálása szükséges. Miután egy szerviz üzenet érkezett a mobil eszköztől a *serviceReceived(buffer)* metódus hívódik meg. A puffer tartalmazza a kiadott parancsokat és paramétereket, ami alapján az adott eszköz eldöntheti, hogy milyen teendők szükségesek. A szolgáltatás aktuális állapota a *serviceStatus()* függvénnyel rendszeresen lekérdezésre kerül. Ennek lehetséges visszatérési értékei a következők:

- *SRV_NO_DATA*: nincs küldésre váró adat
- *SRV_DATA_AVAILABLE*: a szolgáltatás kész a válasszal
- *SRV_DATA_LATER*: a szolgáltatás még nem kész a válasszal, de később válaszolni kíván

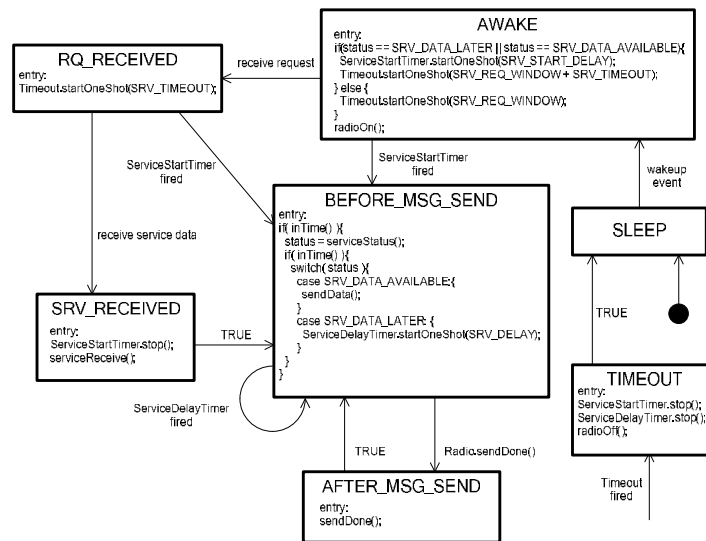
Amennyiben a szolgáltatás kész a válasszal, akkor a *serviceGetData(buffer)* hívódik meg. Itt lehetősége van a szolgáltatásnak a puffer feltöltésére az elküldeni kívánt adatokkal. A rendszer a *serviceSendDone()* hívásával jelzi a küldés sikerességét vagy megghiúsulását.

A 5. ábrán egy egyszerű példa látható a működés szemléltetéséhez. A mobil szolgáltatás az első esetben azonnal kész a válasszal (*SRV_DATA_AVAILABLE*) a szerviz üzenet megérkezését követően. Azonban a második üzenet csomagot csak később tudja előállítani (*SRV_DATA_LATER*). Ekkor a rendszer *SRV_DELAY* ideig várakozik az állapot ismételt lekérdezése előtt. Az üzenet elküldése után a folyamat addig folytatódik, amíg a szolgáltatás állapota *SRV_NO_DATA* nem lesz. Természetesen az adás csak a szerviz időszel alatt történhet meg, így előfordulhat, hogy a folyamat megáll és csak egy periódussal később folytatódik.



5. ábra A mobil szolgáltatás működése

A TDMA hálózatban található eszközök mobil szolgáltatásához kapcsolódó állapotgép a 6. ábrán látható. Az *SRV_REQ_WINDOW* és a *SRV_TIMEOUT* értékek jelentése a 4. ábrán van feltüntetve. A rendszer az *inTime()* függvény segítségével állapítja meg, hogy a rendelkezésre álló időben lehetséges-e még egy teljes üzenet elküldése. Ezáltal biztosított, hogy a periódus végén elhelyezkedő szerviz időselet ne csússzon bele a következő periódus elejébe.



6. ábra A mobil szolgáltatás állapotgépe

B. Szoftver működés a mobil eszközön

A mobil szolgáltatás használatkor *serviceSend(node_id, buffer)* segítségével küldhetőek el a megfelelő parancsok és paraméterek a *node_id*-vel megcímezett eszköznek, míg a *serviceReply(buffer)* metódus a válasz üzenetek megérkezésekor hívódik meg.

Első lépésben, a *serviceSend()* metódus meghívása után, a mobil eszköz szinkronizálódni próbál a kiválasztott eszközzel. Ez a TDMA módban működő hálózat lehallgatásával lehetséges, ugyanis a kommunikáció során minden üzenet tartalmaz egy időbélyeget. Ennek segítségével szinkronizálódik egymáshoz a hálózat összes eleme. Egy ilyen megoldást ír le a [5]. Ezt kihasználva a mobil eszköz képes meghatározni az SRQ üzenet elküldésének pontos idejét. Ezután a megcímezett eszköz ébren marad, és a szerviz üzenet elküldhető.

A *serviceReply()* metódus gyakorlatilag a válaszként kapott üzenetet továbbítja a felsőbb szoftver rétegeknek.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmányban bemutatásra került egy mobil eszközök számára ideiglenes kapcsolódást biztosító, energia hatékony megoldás, tisztán TDMA alapon működő hálózatokhoz. A javasolt megoldás használható például karbantartási feladatok elvégzésére, naplók letöltésére vagy parancsok küldésére a hálózatban. A mobil szolgáltatás minimális többlet sávszélességet és energia felhasználást igényel. A tesztek és az elvégzett mérések alapján, a szolgáltatás járulékos költsége kevesebb, mint 0,1%.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] K. Langendoen, and G. Halkes, "Energy-Efficient Medium Access Control," In: R. Zurawski (Ed.): Embedded Systems Handbook, ch 34, CRC Press, 2005
- [2] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks, " IEEE/ACM Transactions on Networking 12, 2004, IEEE Press Piscataway, NJ, pp. 493 - 506
- [3] C. Alippi, R. Camplani, C. Galperti, M. Roveri, "Effective design of WSNs: From the lab to the real world," In Proc. of the 3rd International Conference on Sensing Technology, ICST '08, 2008, pp. 1-9
- [4] A. Elsaify, P. Padhy, K. Martinez, and G. Zou, "Gwmac: a tdma based mac protocol for a glacial sensor network," In Proc. of the 4th ACM workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks, PE-WASUN '07, 2007, pp. 54-61

- [5] M. Maróti, B. Kusy, G. Simon, and A. Lédeczi, "The flooding time synchronization protocol," In Proc. SenSys '04. 2004, pp. 39–49
- [6] P. Levis, and D. Gay, "TinyOS Programming." Cambridge University Press, New York, NY, 2009
- [7] G. Vakulya, and G. Simon, "Design of a Sensor Network Based Security System," In Proc. of the IEEE 7th International Symposium on Intelligent Signal Processing, WISP '11, 2011, pp. 1-5