

Segédvivős címzésű, csomagkapcsolt optikai router

KOVÁCS ATTILA, DEME ILDIKÓ PH.D. HALLGATÓK

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szélessávú Hírközlő és Villamosságtan Tanszék
Optikai és Mikrohullámú Laboratórium
kovacs@mht.bme.hu, deme@mht.bme.hu

Reviewed

Kulcsszavak: WDM, optikai csomagkapcsolás, segédvivő, optikai router

Laborunk egy nemzetközi projekt keretében optikai core router kutatásával és fejlesztésével foglalkozik. Az eszköz hullámhossz-osztásos csomagkapcsolt, segédvivős címzést alkalmazó technológiára épül. Az alábbiakban a koncepciókat, a fejlesztés jelenlegi fázisát, és eddigi elért eredményeinket szeretnénk dióhéjban az olvasóközönség elé tárni.

Laborunk egy LABELS név alatt futó 3 éves európai projekt keretében optikai gerinchálózatokban alkalmazható core router fejlesztésében vesz részt. A projekt résztvevői között egyetemek, ipari vállalatok, és szolgáltatók egyaránt vannak. Mivel nem pusztán elméleti kutatásról van szó, ezért a kitűzött cél egy prototípus megépítése és tesztelése. A mi feladatunk az optikai címfeldolgozás és az ehhez tartozó vezérlés megvalósítása. A következőkben eddigi eredményeinkről, elképzeléseinkről szeretnénk rövid, de átfogó képet adni.

Koncepció és specifikáció

Az eszköz megtervezése és specifikálása során a következő szempontokat vettük figyelembe. A nagysebességű WDM optikai gerinchálózatokhoz alkalmazkodva a csatornánkénti adatsebességet 10 Gbit/s-nak választottuk. Fontos szempont volt a gazdaságos megépíthetőség és tesztelhetőség is, így legkevesebb 8, maximum 16 hullámhossz irányítása szükséges. Az IP transzparenciát és a jelenleg rendelkezésünkre álló technológiát figyelembe véve optikai/elektromos átalakítás és segédvivős optikai cím alkalmazása mellett döntöttünk [2, 3].

Mivel változó méretű csomagokat is szeretnénk továbbítani, ezért viszonylag nagy, 300 Mbit/s sebességű címet használunk. A címfeldolgozó áramkörnek ilyen sebesség mellett kell börsztös üzemben 1-2 μ s alatt elvégeznie a címinformáció feldolgozását. A fenti feldolgozási idő a következő számításon alapul. Mivel a transzparencia fontos szempont, az IP hálózatokat alapul véve a maximális csomaghossz 64 kbyte, az Ethernet esetén 1500 byte, de átlagban alkalmazástól és hálózattípustól függetlenül minimálisan 1200 byte hosszú csomagokkal számolhatunk. A címfeldolgozás ideje alatt az adat késleltetésére van szükség, amit több száz méter hosszú optikai szállal valósítunk meg. A fény terjedési sebességét optikai szállban az n_1/c képlet adja, ahol c a fény vákuumbeli sebessége ($3 \cdot 10^8$ m/s), n_1 pedig a szál magjának törésmutatója. Egy átlagos monomódusú optikai szállban $n_1=1,45$. Így $L=400$ méter

hosszú száll esetén a késleltetés $T = L n_1/c = 1,93 \mu$ s. Az 1500 bájtos, 10 Gbit/s-os csomag időbeni hossza 1,2 μ s. A száll hosszát tehát úgy kell méretezni, hogy a leg hosszabb csomag se lógjon túl időben a késleltetés hosszán. A cím felépítésével a következő részben foglalkozunk. A specifikációnak még három fontos szempontot kell rögzítenie. A cím kiszűrését, detekciójának módját, és a címfeldolgozás során esetleg előforduló ütközések kezelést. Az optikai szűrő kritikus eleme a rendszernek, mert rendkívül keskeny sávban kell működnie, hiszen az alapsávi adattól néhány 10 GHz-re lévő oldalsávot kell kiszűrnie. A címet hordozó segédvivő kiszűrése után alapsávi jelet megkaphatjuk burkolódetektor (melynek sáv szélessége minimum kétszerese kell hogy legyen a cím sáv szélességének) és mikrohullámú keverőáramkör segítségével.

Az esetleges ütközéseket az adott csomag eldobásával kezeljük le. A fenti szempontok alapján már elkészíthető az eszköz blokk diagramja, és definiálható az optikai cím.

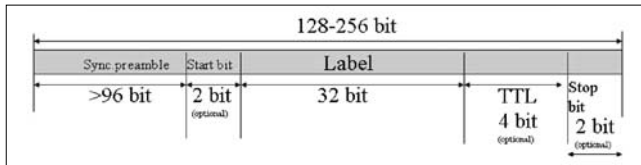
Optikai cím

Egy-egy csatorna esetünkben egy-egy hullámhossznak feleltethető meg [2]. Egy adott hullámhosszon intenzitás-modulációval visszük át a 10 Gbit/s-os adatot, és a spektrumban 20 GHz-re lévő segédvivőre moduláljuk rá az NRZ (Non Return to Zero) kódolású címinformációt. A cím maximális sebessége 300 Mbit/s. Az ideális cím hosszának megállapításához három szempontot kell figyelembe venni.

- Egrészt elegendő hosszúnak kell lennie az adat visszaállításához szükséges szinkronizációhoz. Nyílt hurkú adatvisszaállítás esetén a mérések eredményét figyelembe véve 128 bit preamble szükséges a biztos szinkronozáshoz. Zárt hurkú megoldást alkalmazva ez a szám 2-3 bájtra csökkenthető, de hátránya, hogy PLL használata szükséges. Emiatt a nyílt hurkú adatvisszaállítást valósítottuk meg.

- A hasznos címinformáció és az előtag együttes időtartama ne haladja meg a feldolgozásra szánt idő

45%-át. Ha az 1500 bájtos csomag hossza 1,2 μ s, és a csomag végeinél 100 ns-os védősávot hagyunk az adat és a hozzá tartozó cím elcsúszásának kiküszöbölésére végett, akkor a cím mintavételezésére 450 ns áll rendelkezésre. Ez 128 bit hosszúságú cím alkalmazását teszi lehetővé. Így további 600 ns áll rendelkezésre a csomag útvonalának meghatározására, illetve a cím újraírására.



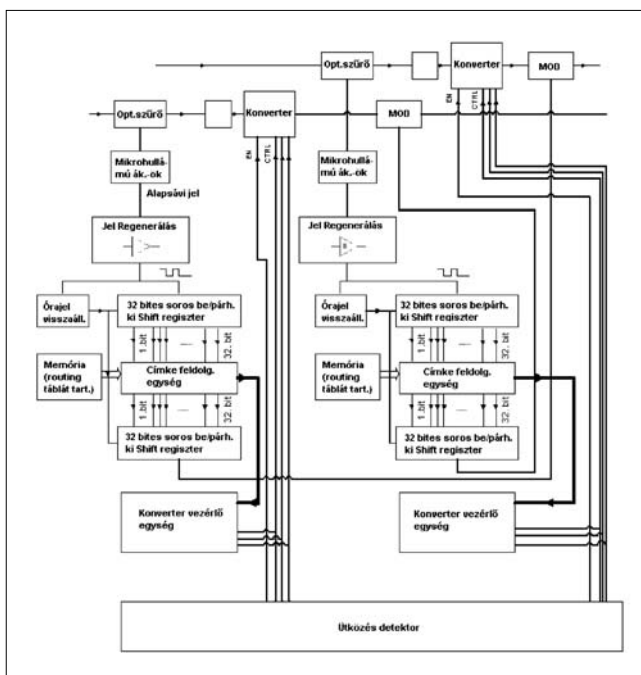
1. ábra Optikai cím

Végül a tényleges címinformáció (32 bit) azonosítását megkönnyítő start és opcionálisan stop unique word-öket, és a csomagok esetleges végtelen ciklusú keringését megakadályozó (TTL) biteket kell tartalmaznia az optikai címkének. Tekintettel arra, hogy a fenti cím csak az optikai hálózatban él, a 32 bit elegendő számú egyedi címet eredményez, és esetlegesen néhány bit a QoS (Quality of Service) jelzésére is szolgálhat.

A router felépítése

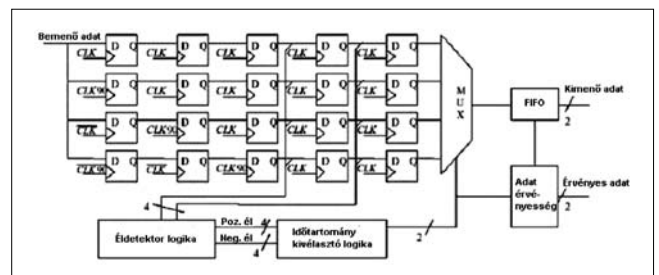
Az általunk fejlesztett router két csatornás blokkvázlata a 2. ábrán látható. A router bemeneti portján egy demultiplexer fokozat szétválasztja a különböző hullámhosszú csatornákat, majd optikai szűrők segítségével kiszűrjük az optikai címet. A hasznos terhelés (payload) változatlan formában halad tovább, és egy optikai késleltető vonalra kerül.

2. ábra Router blokkvázlata két csatornára



A késleltetés ideje alatt kerül feldolgozásra az optikai cím, és mire a hasznos terhelés a késleltető szakasz végéhez ér, az új optikai címke rendelkezésre áll, és a hullámhossz konverter beállítása megtörténik. A hasznos terhelés hullámhossz konverziója (irányítása) után az új alapsávi címet felkeverjük, majd optikai modulátor segítségével az új hullámhosszú csomag segédvívjére keverjük. A hasonlóan routolt többi csatornát is multiplexálva a csomagok a router kimeneti portjára kerülnek.

A címinformáció feldolgozása a következő sorrendben történik: A kiszűrt optikai címkét burkolódetektor segítségével elektromos jellé alakítjuk, majd lekeverjük alapsávba. A jelregeneráció után nyílt hurkú módszerrel visszaállítjuk az adatot, és a hasznos címinformáció birtokában az előre rögzített routing tábla alapján meghatározzuk az útvonalat (új hullámhossz), majd újraírjuk az optikai címet. A csomagok ütközését figyelve eldobjuk a kisebb prioritásút. Az adatvisszaállítás módját az alábbi fejezet részletezi.



3. ábra Adatvisszaállítás

Digitális vezérlés

A nyílt hurkú adatvisszaállítást FPGA (Field Programmable Gate Array) alapú áramkör végzi [1]. Az FPGA alacsony kapunkénti költsége, viszonylag nagy sebessége ($CLK_{in} \max = 420 \text{ MHz}$) és univerzalitása ideálissá teszi a hálózatos alkalmazásokra. A digitális vezérlés két fő részből áll: a paraméter módosítást lehetővé tevő felhasználói interfészből, és a címfeldolgozó logikából.

A nyílt hurkú adatvisszaállítás a túlmintavételezés elvén alapul. A bejövő bitsorozatot négyszeresen túlmintavételezzük oly módon, hogy azt az órajellel, annak negáltjával, illetve az órajel és negáltjának fázisban 90 fokos eltoltjával mintavételezzük. Így négy időtartományhoz jutunk. A helytelen bit detekció és az esetleges jitterek kiküszöbölése miatt plusz egy tárolófokozatot és éldetektort alkalmazunk (3. ábra).

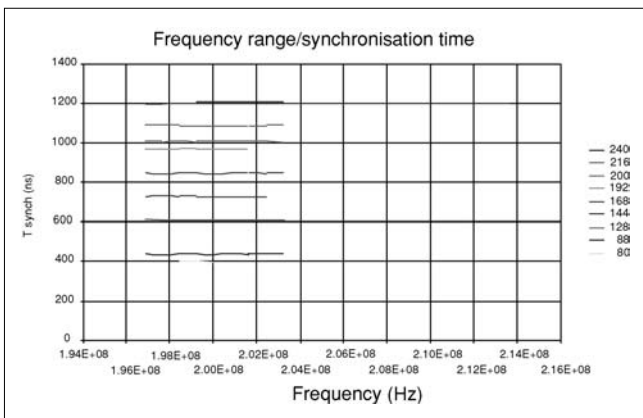
Az éldetekción alapuló logika gondoskodik arról, hogy mindig a megfelelő időtartományból mintavételezzünk. A kapott adatot soros/párhuzamos átalakítás után egy komparátor vizsgálja. Amennyiben a komparátor a címinformáció kezdetét jelző unique word-el egyezést talál, úgy az ezt követő 4 bájtot a tényleges címként tároljuk, majd a routing tábla alapján meghatározzuk az új hullámhosszat. Végül a címet újra az 1. ábra szerinti alakra hozva rámoduláljuk a kimenő csomag segédvívjére.

Eredmények és hiányosságok

Jelenleg a BER (Bit Error Ratio) előkészítése folyik. A bithiba arány megállapításához szükségünk van adó és vevő egységre egyaránt. Az adó véletlenszám generátor segítségével állít elő optikai címeket az általunk meghatározott formátum szerint. A vevő egység visszaállítja a címinformációt. Természetesen az adó és a vevő egymástól független, néhány MHz-el eltérő órajelről üzemelt, amivel az aszinkron kapcsolatot modelleztük. Az adó órajele 200 MHz volt, míg a vevőét $\pm 5\%$ -kal elhangoltuk. A szinkronizáció idejét a vevő órajelnek függvényében az előtag hosszával paraméterezve a 4. ábra szemlélteti.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy 88 bitnél hosszabb előtagok esetén működik az adatvisszaállítás, amelynek a minimális ideje 400 ns. Az adó és vevő órajele közötti megengedett maximális frekvenciakülönbség 2,2 MHz, amely 10%-os túrést jelent. Ez jóval több, mint amit az aszinkron hálózatok megkövetelnek.

4. ábra Mérési eredmények



Rendszerünk hiányossága, hogy csak 200 MHz-es címeket tud feldolgozni, amelyet reményeink szerint a digitális áramkörök optimalizálásával 300 MHz-ig tudunk növelni. További probléma, hogy csak statikus routing táblát alkalmazhatunk, mivel a dinamikus irányításhoz nem áll rendelkezésünkre megfelelő számítási teljesítmény. Végül a router csak hullámhossz irányításra képes, fizikai csatornákéra nem. Ez optikai kapcsoló mátrix, és két szintű vezérlő logika alkalmazásával (ahol az elemi szintet a jelenlegi hullámhossz irányításos eszköz képezi) megoldható.

Összegzés

Reméljük sikerült kellő áttekintést nyújtani kutatásainkról, amelyek időszerűek és a jövőbe mutatnak. Bízunk abban, hogy a felmerülő problémákra megoldást találunk, és ezáltal újabb kérdésekre kereshetjük a választ. Úgy véljük, az optikai hálózatoké a jövő.

Irodalom

- [1] Attila Kovács, Ildikó Deme:
"Clock and data recovery from high speed asynchronous NRZ coded data stream"
Microcoll 2003, Budapest
- [2] D.J. Blumenthal, A. Carena, L. Rau, V. Curri, S. Humphries:
"All-Optical Label Swapping with Wavelength Conversion for WDM-IP Networks with Subcarrier Multiplexed Addressing," IEEE Photonics Technology Letters, vol.11, No.11, pp.1497-1499, Nov. 1999.
- [3] Tamás Marozsák, Attila Kovács, Ildikó Deme:
"All-optical routing for packet switched networks"
Third Hungarian WDM workshop,
"Intelligence in Optical Networks", 08. Apr. 2003, Bp.

Hírek

Magyar részvétel európai kutatási projekteken

Az ASON tématerülettel foglalkozó **EURESCOM P1012 FASHION** projektben aktív szerepet vállalt a BME Híradástechnikai Tanszék hálózattervezési szakmacsoportja. A nagy európai távközlési szolgáltatók (Swisscom, France Telecom R&D, Matáv, Telecom Italia Lab SpA, Telenor, OTE SA, Portugal Telecom Inovação) részvételével zajló munka keretében tervezési/szimulációs eszközök és tudományos szempontból is értékes publikációk készültek el.

A projekt eredményeit összefoglalva elmondható, hogy az elkészült dokumentumok mind az ASON technológia megértését, mind stratégiai alkalmazhatósági aspektusait informatívan, értékes gondolatokat összefoglalva tárgyalják. Az elkészült végleges eredmények és a közös munka során felhalmozott ismeretek és tapasztalatok jól szolgálhatják a technológia hazai megismertetésének, első alkalmazhatósági vizsgálatainak előkészítését.

A projekt honlapja: <http://www.eurescom.de/public/projects/P1000-series/p1012/default.asp>