

Elektromos gépjárművek szenzortérképének elkészítése és a keletkező szenzorhiba elemzése

Tuloki Szilárd*; Nagy István**

*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, H-1034, Budapest
(Tel/Fax: +36-1-666-5300; e-mail: tuszilard@gmail.com).

** Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, H-1034, Budapest
(Tel/Fax: +36-1-666-5366; e-mail: nagy.istvan@bgk.uni-obuda.hu.).

Összefoglalás: A járműközlekedési rendszerek egyre összetettebbé, egyre bonyolultabbá válnak annak érdekében, hogy kielégítsék az egyre növekvő biztonsági és kényelmi követelményeket. Azok a technológiák, amik 5 évvel ezelőtt még a kutatói laboratóriumokban voltak, manapság már a csúcstechnológiás gépjárművek hétköznapi elemei. A legtöbb ember észre sem veszi, hogy a bejárat előtt álló kocsija az új technológia élvonalába tartozik. A hétköznapi emberek jelentős többségére igaz, hogy a személygépkocsija az első olyan eszköz ahol új intelligens számítástechnikai technológiával találkozik, mint például az adaptív irányítás, hangfelismerés, stb.... Az új technológiák bebiztosításának érdekében, már a hétköznapi életben fellelhető személygépkocsik is nagymértékben tartalmaznak intelligens szenzorokat, melyek valamilyen hálózatban kapcsolódnak egymáshoz, illetve a fedélzeti processzorhoz. Ez a cikk egy elektromos személygépkocsi szenzorrendszer-hálózatát próbálja feltérképezni, majd a szenzorrendszerben fellépő hibákat próbálja feltárni, és elemezni keletkezésük okait.

1. BEVEZETÉS

Az elektromos autók érzékelő rendszere belső érzékelőkre (pl. inkrementális kódolók, kerékegyenes érzékelők) és külső érzékelőkre (pl. kamerarendszer, GPS) osztható. Jelen cikkben a szenzorhálózatok redundanciájának kiaknázására összpontosítunk a térbeli interpoláció összefüggésében. A hálózat elosztott mintavételi rendszerként működik, ahol az érzékelők rendszeres időközönként megvizsgálják a kívánt fizikai jelenségeket, pl. hőmérséklet, sebesség. Az autók számára a folyamatos biztonság, teljesítmény növelése, a környezeti hatások csökkentése, kényelem növelése érdekében folyamatosan növelni kell az autó elektronikus vezérlőegységei (ECU) közötti kommunikáció sebességét, mennyiségét és megbízhatóságát. Fejlett vezérlési és biztonsági rendszerek, -több érzékelőt, működtetőt és elektronikus vezérlő egységet kombinálva-, olyan szinkronizációt és teljesítményt igényelnek, amik felülmúlhatják a jelenlegi sínrendszerek teljesítőképességét. [1,2]

2. SENZOR HÁLÓZAT TOPOLOGIA

A kommunikációs hálózatban a topológia kifejezés azt jelenti, hogy az eszközök hogyan vannak összekapcsolva a hálózatban. A hálózati topológiák alapvető típusai: Sín (Busz) Topológia, Csillag Topológia, Gyűrű Topológia, Háló Topológia és Fa Topológia. A szenzoros rendszer elektromos eszközei többnyire a fa topológiát és a háló topológiát kombinálják, így a hibadiagnózis egyszerűbb lehet. [1,2]

2.1 Fa topológia

A fa topológiában csak egy útvonal található a hálózat bármelyik két csomópontja között. Ezt nevezik hierarchikus topológiának is, amelynek legalább három szintje van a hierarchiában [2,3].



1. ábra Fa(bal) és háló(jobb) topológia

2.2 Háló topológia

A háló topológiában a csomópontok vagy utasítások között pont-pont „point to point” összeköttetés van. Ez lehetővé teszi a folyamatos összeköttetéseket és a „szakadt” vagy blokkolt útvonalak újra-konfigurálását a csomóponttól a csomópontra történő ugrással a rendeltetési helyig. [2,3] Ennek nagy jelentősége van a biztonság terén, ugyanis bizonyos kapcsolat szakadása esetén a hibajelzés megjelenik, viszont a beavatkozás a hálózat újra-konfigurálásának köszönhetően megtörténik. Természetesen a tesztek során ezeket a szakadásokat kötelező diagnosztizálni és eltávolítani, ugyanis az újra-konfigurálás hosszabb jelutató, illetve hosszabb jelterjedési időt jelent.

3. LEHETSÉGES FEDÉLZETI VEZÉRLŐESZKÖZÖK, PROCESSZOROK

Minél több szenzort kell figyelniük és beavatkozó szervet aktiválniuk, annál gyorsabb és komolyabb vezérlő eszközökre van szükségünk. Először tekintjük át általánosságban az egyáltalán szóba jöhető vezérlőrendszereket. A 2. ábrán egy összehasonlítás látható, mely megpróbálja besorolni az általános processzort (GPP) az alkalmazás-specifikus processzort (ASIP) és az alkalmazás-specifikus IC-t (ASIC) a teljesítményük (x-tengely), és a rugalmasságuk (y-tengely) alapján.



2. ábra Vezérlőeszközök összehasonlítása a teljesítmény és rugalmasság terén [4]

3.1 Általános célú processzorok

Az általános célú processzorokat (General Purpose Processor) több alkalmazás végrehajtására és több feladat elvégzésére tervezték. Sajnos meglehetősen drágák lehetnek, különösen olyan kis eszközök számára, amelyeket speciális feladatok elvégzésére terveztek. Nagy a rugalmasságuk, de sajnos a gyorsaság rovására.

3.2 Alkalmazás specifikus processzorok

Az alkalmazás specifikus processzorok (Application Specific Processor) megoldást jelentenek a nagy teljesítményű és költséghatékony processzorok számára. Alkalmazás-specifikus processzorok életünk részévé váltak, és szinte

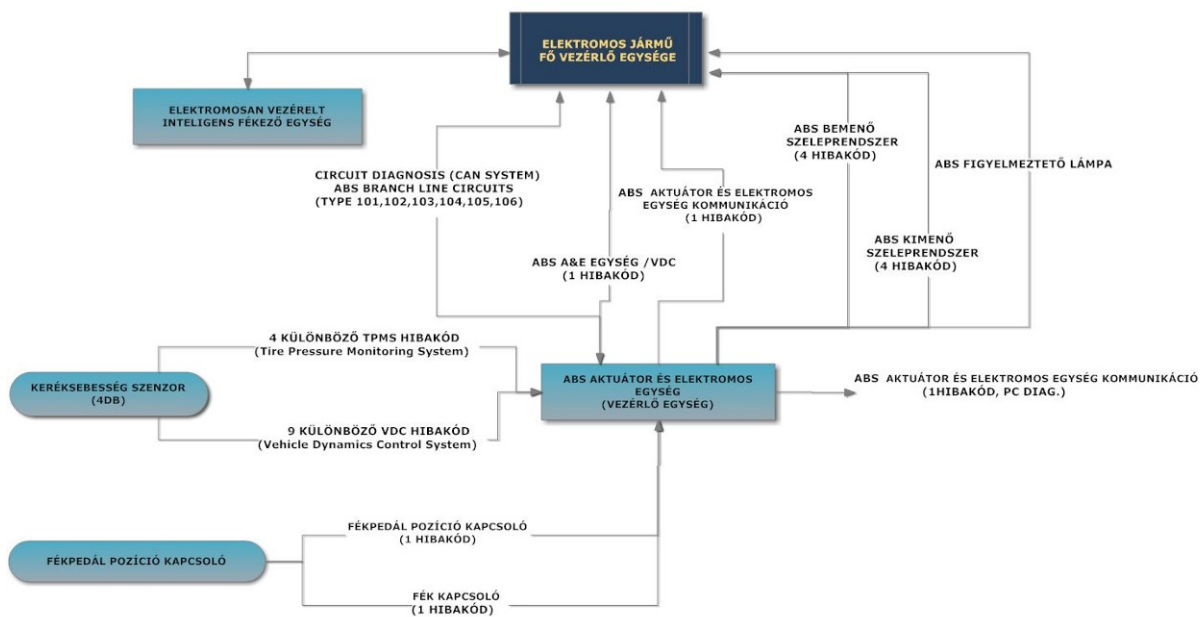
minden olyan eszközben megtalálhatóak, amiket napi rendszerességgel használunk: TV, GPS, mobiltelefonok. Az alkalmazás specifikus processzor ötvözi a nagy teljesítményt, az alacsony költségeket és az alacsony fogyasztást [4]. Rugalmasságuk sajnos alacsonyabb, mivel célprocesszorok, vagyis bizonyos feladatokat tudnak csak elvégezni, de azokat többszörös gyorsasággal, mint az általános processzorok.

3.3 Alkalmazás alapú integrált áramkörök

A GPP-hez képest az ASIC (Application Specific Integrated Circuit – alkalmazás alapú IC-k) alapú rendszerek jobb teljesítményt és áramfogyasztást kínálnak, de a rugalmasság és a bővíthetőség rovására. Noha nehéz használni az ASIC-t más feladatokhoz, mint amire tervezték, de lehetséges a GPP használata az ASIC mellett ugyanazon a rendszeren belül is általánosabb, kevésbé igényes feladatokra [4].

Felmérve a járműiparban használatos rendszereket a következő belépő feltételeink vannak: sok szenzor figyelése egyidőben, gyors döntéshozatal, aránylag kevesebb beavatkozó szerv működtetése a szenzoradatok alapján. A vezérlőrendszerekkel kapcsolatos elvárások: gyors beavatkozás (ami gyors, -és persze helyes-, döntést is igényel). A hálózattal kapcsolatos elvárások: a hibák gyors felfedése és kiküszöbölése, gyors adatátvitel, alternatív útvonalak tartalékolása.

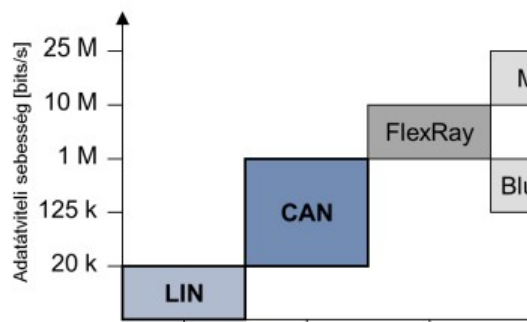
Mindezeket figyelembe véve, összegzőképpen elmondható, hogy érdemes az egész rendszert egy központi rendszerre és több al-rendszerre bontani, úgy, hogy az al-rendszerek vezérlő egységei minél közelebb legyenek a szenzorokhoz, illetve beavatkozókhoz, míg a központi rendszer felügyeli az al-rendszereket illetve tájékoztatja a felhasználót, naplóz, illetve tesztfeladatokat lát el.



3. ábra Fő- és alrendszerek feltérképezése a rendszerben

4. KOMMUNIKÁCIÓS PROTOKOLLOK

A kommunikációs protokollokban a legtöbb gépjármű különböző típusú technológiákat alkalmaz. A legnépszerűbb ezek közül az univerzális aszinkron adóvevő (UART), a soros RS-232, soros periféria-illesztő (SPI), integrált áramkörök közötti (I2C), CAN, CANOpen, helyi összeköttetés hálózata (LIN), média orientált rendszer (MOST), FlexRay. Az egyes rendszerek összehasonlítása a 3. ábrán látható. Az általunk vizsgált rendszeren CAN és CANOpen hálózatok vannak jelen.



4. ábra Jelentősebb autóipari kommunikációs protokollok összehasonlítása [5]

4.1 Local Interconnect Network (LIN)

Az 1999-es évben néhány VLITE buszt használó autóipari vállalat hatására került sor a LIN első változatának (LIN 1.0) kidolgozására. A LIN kommunikációs protokoll szabványosításával az akkor választékosan sokrétű megoldást alkalmazó autóipari kishálózatoknál a fejlesztés, a termék előállítás, a javítás és a logisztika erőforrásigényei kisebbek lettek. A LIN alkalmazása a mai napig az autóiparban leginkább a hierarchikusan felépülő elektronikai eszközök rendszerében alul elhelyezkedő, kis csomópontszámmal rendelkező elemi (al)hálózatokra terjed ki. Hatékonyan támogatja az elosztott autóipari alkalmazások területén alkalmazott mechatronikai egységekből álló csomópontokat. LIN hálózaton – más néven klaszteren (cluster) – egy mester csomópont és egy, vagy több szolga csomópont engedélyezett úgy, hogy a maximális csomópontszám nem lépheti túl a 16 darabot. Az autóiparban használatos kommunikációs protokollok közül a legalacsonyabb kiépítési/fenntartási költséggel a LIN rendelkezik. A LIN hálózat a busz topológiát támogatja, melynél egyetlen vezetékre van felfűzve az összes csomópont. [5]

4.2 CAN

A CAN-buszt a BOSCH fejlesztette ki, mint „multi-master” üzenetszóró rendszer, melynek maximális jelátviteli sebessége 1 megabit/másodperc (Mbps). Ellentétben a hagyományos hálózatokkal (USB, Ethernet), a CAN hálózat nem küld nagy üzenet-blokkokat, hanem sok rövid üzenetet, például hőmérsékletet vagy fordulatszám (RPM), és ez biztosítja az adatok

egységességét a rendszer minden csomópontjában. Eredetileg az autóipar számára fejlesztették ki, hogy lecserélje a bonyolult kábelkötegeket egy két vezetékes rendszerre. Ezáltal a rendszer nagyfokú elektromágneses interferencia ellenállású és az adatok hibáinak önmeghatározására és az adat hibák javítására képes. [6]

4.3 CANOpen

Amikor a nagyfeszültség zavarja az adatátvitelt, elkülönítésre van szükség. A CANOpen lehetővé teszi a csomópontok közötti közvetlen „peer-to-peer” adatcserét szervezett és szükség esetén, determinisztikus módon. A CANOpen által meghatározott hálózati menedzsment funkciók egyszerűsítik a projekttervezést, a végrehajtást és a diagnózist a hálózati indítás és a hibák kezelésének szabványos mechanizmusával. A CANOpen támogatja mind a ciklikus, mind az eseményvezérelt kommunikációt. Ez lehetővé teszi a buszterhelés minimalizálását, de továbbra is rendkívül rövid reakcióidőt tart fenn. Viszonylag alacsony átviteli sebesség mellett nagy kommunikációs teljesítmény érhető el, csökkentve ezzel az elektromágneses interferenciákat (EMI) és a kábelköltségeket. [7]

5. HIBA TERJEDÉSÉNEK ELEMZÉSE ELEKTROMOS JÁRMŰVEK ÉRZÉKELŐ HÁLÓZÁZÁBAN

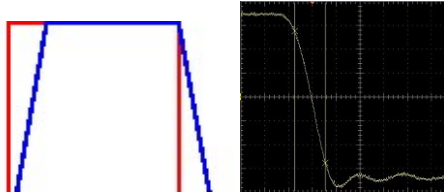
A hiba terjedésének elemzése két részre osztható. Szenzor és a vezérlőegység közti hibaterjedés (hálózaton keletkező hibák, zavarások), és a szenzoron belüli hibakeletkezés, ami valójában a fizikai mennyiség elektromos mennyiségre (jelre) való átalakításának köszönhető.

5.1 Szenzoron belüli hibakeletkezés

Itt kétféle hibát említhetünk meg, első mikor a szenzor közelében külső tényező (pl. külső mágneses tér) zavarja meg a fizikai mennyiség → digitális jel, átalakítást. Ennek következménye vagy jelvesztés (ha a külső jelenség gyengíti az átalakítást), vagy parazita jel (ha a külső jelenség erősíti az átalakítást) lehet.

Szenzoron belüli hibakeletkezésről akkor beszélünk, amennyiben az adott szenzorban keletkező elektromos jel nem felel meg, pl. egy szabványos digitális jelnek illetve elvárt feszültségértékekkel rendelkező analóg jelnek. Ez egy kerékbesség szenzor esetében azt jelenti, hogy az érzékelt analóg jel nem megfelelően lett átalakítva digitális jellé. Ez létrejöhet az érzékeléskor adódó nem megfelelő körülmények miatt, vagy a jel átalakításakor létrejött hibákból adódóan. Az analóg/digitális átalakítás elméleti ideális átviteli funkciója egy impulzus lenne, de a gyakorlati ideális átviteli függvénye egységes lépcsőzetes jellemzővel rendelkezik. Átalakítás során különböző hibák léphetnek fel, melyekben nagy jelentősége van a jelváltozási sebességnek.

A maximális jelváltozási sebességből adódó hibák (Slew Rate), amik a jel „meredekségét” jellemzik. A 4. ábrán látható hogy az ideális jel pirossal van jelölve. Minél magasabb a jelváltozási sebességünk, annál közelebb kerülünk az „ideális” pirosan megjelölt jelhez. Ezáltal az adott jel gyorsabban képes átbillenni a különböző jelszintek (0/1) között. Továbbá a 4. ábrán (jobb oldal) látható a mérőműszerek által mért valós szenzorjelünk.



5. ábra Jelváltozás [8]

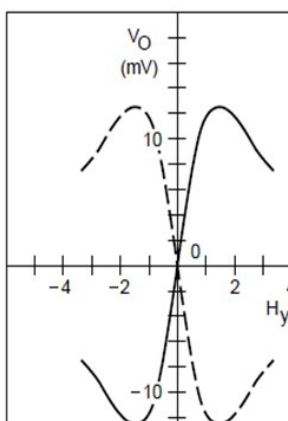
A jelváltozási sebesség az elektronikus áramkörben az egységnyi időegységre eső feszültség változási sebességének felel meg. Általában $V/\mu s$ egységekben fejezhető ki a következő képlettel: [8]

$$SR = \max\left(\left|\frac{dv_{out}(t)}{dt}\right|\right) \quad (1)$$

ahol $v_{out}(t)$ az erősítő által előállított kimenet, a „t” idő függvényében. Ebből az időből megbecsülhető a szenzor maximális frekvenciaátvittele is. [8]

„Flipp” hatás:

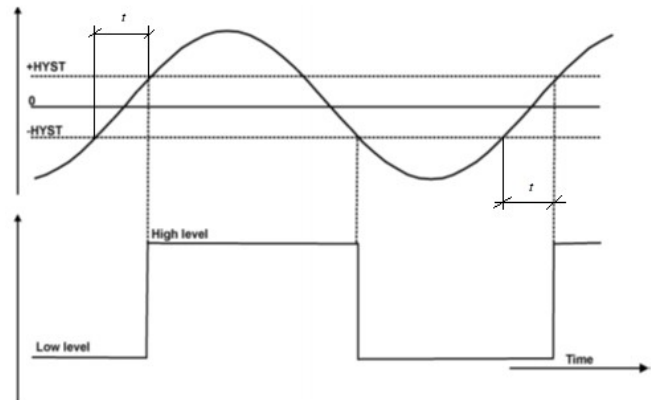
Az érzékelő csíkok belső mágnesezésének két stabil pozíciója van (úgynevezett egyszerű tengelyek). Tehát, ha valamilyen okból az érzékelőt egy erőteljes mágneses mező befolyásolja, amely ellentétes a belső igazítási mezővel, akkor a mágnesezés az egyik helyzetből a másikba fordulhat, és a csíkok az ellenkező irányba mágnesesződnek (például a '+x' -ből a '-x' irányba). Amint az 6. ábrán látható, ez az érzékelő jellemzőinek drasztikus változásához vezethet



6. ábra "Flipp" hatás

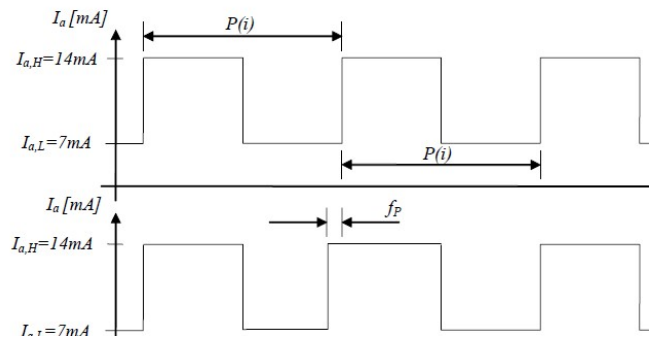
További fontos szerepe van a küszöbölési határoknak, amik valójában megadják a 0/1 digitális jelszintek közötti ún. „holt teret”. Ennek szemléltetésére nézzük a 7. ábrát,

ahol a +/- küszöbértékek és az analóg szinusz jel metszéspontjaiból kiolvasható a „t” hiszterézis idő.



7. ábra Az A/D átalakítás hiszterézise

Manapság intelligens szenzorok használatával nagymértékben kiküszöbölhetőek az átalakításból származó hibák. A járműiparban többnyire forgó alkatrészek elmozdulását kell figyelniük és az ilyen esetekre leggyakrabban valamilyen mágneses elven működő érzékelőt (Hall, GMR, AMR) használnak. Ezek közül egyik legújabb az anizotróp mágneses ellenállás elvén alapuló AMR és a hozzá tartozó intelligens elektronika. Ennek egyetlen említésre méltó hibája lehet a fogaskerék geometriai alakjából származtatható hiba, ami a küszöbölésnél adhat nem releváns értéket, így kicsit megváltoztatva a digitális jel alakját, lásd, 8. ábra „ f_p ”.



8. ábra A geometriából származó változott jelalak

5.2 Szenzor és a vezérlőegység közti hibaterjedés

Ebben az esetben valójában a szenzor-hálózati hibákról és azok kezeléséről beszélhetünk. Itt már nincs szó a fizikai mennyiség elektromos jellé való átalakításáról, csakis az esetleges külső tényezők behatásáról, illetve azok felfedéséről és kiküszöböléséről. A továbbiakban csak a két legelterjedtebb rendszer hibakezelésével foglalkozunk.

A CAN hibakezelése igen kifinomult. Minden CAN-vezérlő egy buszon belül megpróbálja felismerni a hibákat minden üzenetben. Ötféle hibaészlelést valósítottak meg a protokollban, ezek:

1. *Bit hiba.* Az az egység, aki a kérdéses bitet adja, azt vissza is olvassa. Ha a visszaolvasott érték nem azonos az adottal, akkor bithiba keletkezett. Ez alól kivétel az arbitrációs mezőben adott recesszív bit (lásd korábban) és az ACK mezőben az ACK lezáró. Ekkor az adó egy passzív hibakeretet ad.

2. *Bitsorozat hiba.* Ha a keretben ötnél több egyforma bit követi egymást, akkor bit sorozat hiba történt.

3. *CRC hiba.* Az adat és vezérlési kereteket egy 15 bites CRC mező egészíti ki. A CRC generátor polinomja: $X^{15}+X^{14}+X^{10}+X^8+X^7+X^4+X^3+1$

4. *Formai hiba.* Ez akkor következik be, ha a kötött helyű és értékű bitek helyén egy, vagy több illegális értékű bit található

5. *ACK hiba.* Ez akkor következik be, ha az ACK mezőben se pozitív, se negatív ACK nem történik. Nevezetesen recesszív jelszint tapasztalható a buszon.

A LIN busz a következő hibákat képes detektálni: paritás hiba a címmezőben,

- bit hiba, az adó nem azt olvassa vissza, amit adott,
- ellenőrző összeg hiba,
- a szolga nem válaszol,

Látható, hogy a LIN elég biztonságosan működik, bár összehasonlítva a CAN busszal ez a biztonsági szintjel alacsonyabb [9].

ÖSSZEFOGLALÁS

A járműipari fejlesztők, részben érthető módon, igyekeznek a cég keretein belül megőrizni fejlesztési eredményeiket, ezért kívülállóknak aránylag nehéz ezen szenzorhibák felfedése illetve elemzése. Kutatásaink során a szenzorhibákat két részre osztottuk, egyik a szenzoron kívül keletkező hibák, a másik a szenzoron belüli hibák. Mindkét hibatípus elemzéséhez és felfedéséhez feltétlenül szükségesek a rendszerelméleti ismeretek és modellek használata [10].

A szenzoron kívüli hibák felfedésében és kiküszöbölésében a legnagyobb szerepe a megfelelő kommunikációs protokollnak van, ahol a megfelelő mennyiségű redundáns bitek segítségével még részben javítható is a hiba. A további megoldás a megfelelő szenzorhálózat kialakítása, vagyis gyorsan átkonfigurálható hálózatokra ún. „mesh” topológiákra van szükség.

A szenzoron belüli hibák keletkezésének legfőbb oka a különböző fizikai mennyiségek (fény, mágneses tér)

átalakításánál keletkezik. Szinte mindkét esetben a félvezetőkkel kapcsolatos mikro-áramok (szivárgási áram, lyukáram, ...) nagysága változik, többnyire külső zavaró tényező (parazita fény, illetve parazita mágneses tér, illetve torzult geometria) hatására. A cikk eredménye egy konkrét jármű hálózatának feltérképezése (lásd 1., 2., függelék) és a szenzorhálózaton esetlegesen előfordulható hibák (külső és belső) kutatása.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális alap társfinanszírozásával megvalósuló EEFOP 3.6.2-16-2017-00016: “Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatta.

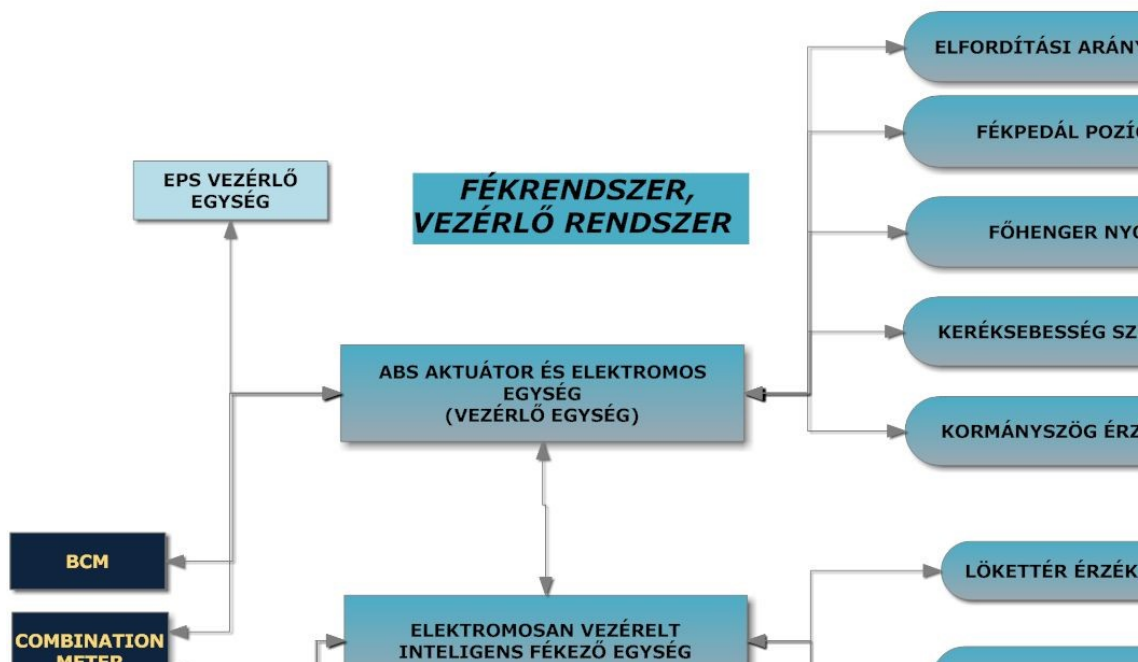
IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Culler, D., Estrin D., & Srivastava, M. B. (2004). Overview of sensor networks. in Computer, August 2004.
- [2] National Instruments, FlexRay Automotive Communication Bus Overview, Publish Date: Srp 24, 2016;
- [3] Analytical study of different network topologies, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056,
- [4] Application specific processors ECE/CS 570 project final report, Yousef Qasim Pradyumna, Janga Sharath Kumar, Hani Alesaimi,
- [5] Autóipari kommunikációs rendszerek, 2014 Pannon Egyetem, Dr. Fodor Dénes, Dr. Szalay Zsolt
- [6] Introduction to the Controller Area Network (CAN), Application report, Texas Instrumens, SLOA101B August 2002 Revised May 2016
- [7] National Instruments, The Basics of CANopen, Publish Date: Srp 21, 2013
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Slew_rate
- [9] Dr. Schuster György – Terpezcz Gábor, Járműiparban gyakran alkalmazott fedélzeti buszok, 2011
- [10] Pokorádi László, Rendszereke és folyamatok modellezése, Campus kiadó, Debrecen, 2008, p. 242,

1. Függelék

NISSAN LEAF Z0

A fékrendszer vezérlő és érzékelő térképe



2. Függelék

NISSAN LEAF Z0

A teljes rendszer feltérképezése

