ISO/TR 23255 - **Inteligentní dopravní systémy – Architektura – Použitelnost technologií distribuce dat v rámci ITS**

Aplikační oblast: Elektronický výběr poplatků (EFC), Aplikační koncepty, Prvky datové komunikace, Systémy řízení nákladní dopravy, Komunikace a komunikační zařízení, Veřejná doprava osob, Datový systém, Dopravní a cestovní informace, Datové struktury, Charakteristiky a parametry systému, Řízení dopravy, Chování komunikace, Automatická identifikace vozidel, zařízení a nákladů (AVI/AEI), Komunikace, Architektura ITS systémů, Data, datové slovníky a registry, Pokrádežové systémy pro navrácení odcizených vozidel, Data, Varovné a kontrolní systémy ve vozidle a na pozemní komunikaci, Parametry systému, Komunikace (CALM), Komunikace vozidla, Přenosná a mobilní zařízení pro služby ITS, Komunikace přenosného zařízení a vozidla, Kooperativní systémy (C-ITS)

Rok vydání normy a počet stran: Vydána 2022, 40 stran

Rok zpracování extraktu: 2025

Skupina témat: Telekomunikace

Téma normy: Telekomunikační protokoly

Charakteristika tématu: Praktické testování a z toho plynoucí doporučení pro výběr správného protokolu

Úvod, vysvětlení východisek
Datové protokoly pro přesně definované přenosy dat (protokoly přenosu) pro použití zejména pro komunikaci mezi vozidlem a infrastrukturou, nebo mezi vozidly navzájem

Popis architektury, hierarchie, rolí a vztahů objektů
Používání datových protokolů v ITS je prováděno v těsné souvislosti s rozhraními, tedy s tvorbou architektury ITS

Popis procesu / funkce / způsobu použití
Popis vhodného a nevhodného způsobu užití konkrétních protokolů na základě výsledků testování

Popis rozhraní / API / struktury systému
Bez detailního popisu

Definice protokolu / algoritmu / výpočtu
Bez detailní definice

Definice reprezentace dat / fyzikálního významu
Standardní fyzikální princip elektromagnetického vlnění/záření pro přenos dat

Definice konstant / rozsahů / omezení
Obsahuje metriky měření pro možné srovnání protokolů z různých hledisek

Úvod

Norma ISO/TR 23255 (dále jen „popisovaný dokument“) popisuje nezávislou a objektivní analýzu výhod a nevýhod používání specifických protokolů pro usnadnění výměny dat v rámci inteligentních dopravních systémů (ITS). Jedná se o protokoly na úrovni „middleware“, tedy vrstvy softwaru, která zprostředkovává komunikaci a správu dat mezi různými aplikacemi, nástroji či operačními systémy. Distribuce dat typu „publikovat a odebírat“ je nezbytnou součástí jakékoli implementace datově propojeného vozidla, používá se zejména pro komunikaci vozidla s infrastrukturou nebo s jinými

vozidly. Způsoby užití komunikace vozidla se zásadním způsobem promítají do architektury ITS.

Poznámka: Extrakt uvádí vybrané kapitoly popisovaného dokumentu a přejímá původní číslování kapitol.

Užití

Popisovaný dokument je navržen tak, aby poskytoval údaje a vysvětlení těm, kteří vytvářejí specifikace pro ITS, implementují, instalují nebo provozují systémy ITS, v tomto případě zejména aplikace pro vozidla a účastníky dopravního provozu. Na základě výsledků technologických testů umožňuje získat povědomí o výhodách a nevýhodách jednotlivých způsobů (protokolů) komunikace, včetně problematiky jejich masového užití.

1. Předmět normy

V odvětví informačních a komunikačních technologií (ICT) se objevila řada univerzálních technologií pro distribuci dat. Tyto technologie obecně poskytují služby na relační, prezentační a aplikační vrstvě (tj. vrstvy 5 až 7 OSI – Open System Interconnect). V rámci ITS tyto vrstvy zhruba odpovídají vrstvě zařízení referenční architektury stanice ITS (ITS-S), jak je definována v normě ISO 21217.

Popisovaný dokument zkoumá použitelnost těchto technologií pro distribuci dat v prostředí ITS.

2. Souvisící normy

V popisovaném dokumentu není explicitně uvedena vazba na konkrétní jiné normy. To i přímo uvádí jediná věta v kapitole „Souvisící dokumenty“ (kapitola 2). Popisovaný dokument se však ve své úvodní části odkazuje na terminologický slovník ITS, normu ISO/TS 14812, a dále na normu pro referenční architekturu komunikace stanic ITS, normu ISO 21217.

3. Termíny a definice

V této kapitole o délce necelé jedné strany jsou uvedeny pouze dvě definice klíčových termínů souvisejících s popisovaným dokumentem. Termíny jsou udržovány ve vazbě na terminologické databáze ISO a IEC a na terminologický slovník ISO/TS 14812. Níže jsou uvedeny oba klíčové termíny:

funkce distribuce dat *(data distribution functionality, DDF)* funkce vrstvy zařízení (vrstvy OSI 5, 6 a 7) složená ze sady služeb distribuce dat, které umožňují distribuci dat v komunikační síti řízené sadou politik, předpisů a pravidel

Poznámka 1 k heslu: Každá odlišná technologie distribuce dat má svou vlastní jedinečnou funkci distribuce dat.

služba distribuce dat *(data distribution service, DDS)* prvek sady služeb, který implementuje funkci distribuce dat v komunikační síti

PŘÍKLAD 1: Publikování: poskytování dat od jedné entity druhé (předem za tím účelem registrované).

PŘÍKLAD 2: Odběr: mechanismus registrace jedné entity k přijímání konkrétních dat od jiné entity.

PŘÍKLAD 3: Zjišťování potřebných podrobností o tom, jak vzájemně komunikovat (např. síťová adresa nižší vrstvy, porty atd.).

POZNÁMKA 1 k heslu: Toto je specifický protokol standardizovaný organizací OMG.

Další symboly a zkratky z oboru ITS jsou obsaženy ve slovníku Názvosloví ITS (www.itsterminology.org).

Další termíny a zkratky z oboru ITS jsou obsaženy ve slovníku ITS terminology.

4. Symboly a zkratky

V této kapitole o délce necelé jedné strany je uvedena definice a výklad 18 zkratek používaných v popisovaném dokumentu. Tento výčet zkratek představuje terminologický základ pro oblast ITS a slouží k popisu technické a procesní interoperability pod záštitou organizací vytvářejících normy.

Zkratky zahrnují komunikační technologie a protokoly pro bezdrátový přenos dat postavené na referenčním modelu OSI. Dále obsahují architektonické rámce, které se v mezinárodním i národním kontextu používají pro návrh systémů ITS. Další složkou jsou modely pro interakci vozidel (V2X), kdy jsou definovány směry datových toků mezi infrastrukturou, vozidly a centrálními systémy, které v rámci ekosystému IoT (internetu věcí) zajišťují kooperativní řízení dopravy.

ARC-IT americká architektura ITS *(Architecture reference for cooperative and intelligent transportation)*

C-C vzájemná komunikace mezi centrálními systémy *(centre-to-centre)*

C-V komunikace mezi centrálním systémem a vozidlem *(centre-to-vehicle)*

C-V2X celulární sítě pro interakci vozidel *(cellular vehicle-to-anything)*

ConOps provozní koncept *(concept of operations)*

DSRC vyhrazená komunikace krátkého dosahu *(dedicated short-range communication)*

FRAME evropská architektura ITS *(European framework architecture)*

HARTS harmonizovaný model architektury pro technické normy *(Harmonized architecture reference for technical standards)*

LTE standard pro vysokorychlostní přenos dat v mobilních sítích *(long-term evolution cellular)*

NIAF australská architektura ITS *(National ITS architecture framework for Australia)*

V2I komunikace mezi vozidlem a infrastrukturou *(vehicle-to-infrastructure)*

V2V vzájemná komunikace mezi vozidly *(vehicle-to-vehicle)*

5 Přechod od tradičního ke kooperativnímu myšlení

Tato kapitola na 5 stranách popisuje přechod od tradičního ke „kooperativnímu“ pojetí ITS, které jsou kriticky závislé na efektivní výměně dat mezi centry, vozidly, infrastrukturou a uživateli. Zatímco dříve se vývoj soustředil na izolovaná řešení (tzv. sila), moderní přístup prosazuje využití funkcionality pro distribuci dat (DDF). Ty fungují jako mezivrstva (middleware), která pomocí standardizovaného rozhraní API odděluje aplikace od složitosti síťových protokolů. Díky principu „publikuj – odebírej“ (publish-subscribe) mohou systémy sdílet data, jako jsou aktuální dopravní informace, bezpečnostní certifikáty nebo aktualizace softwaru, aniž by musely znát přesného příjemce nebo specifický formát každého koncového zařízení.

Hlavní výzvou zůstává překonání fragmentace trhu a technické nekompatibility. Tradiční vývoj v izolovaných řešeních vede k duplicitním datovým definicím, konkurenčním protokolům a omezené budoucí rozšiřitelnosti. Text proto zdůrazňuje potřebu systémového inženýrství, které začíná jasným provozním konceptem (označeným jako „ConOps“) a směřuje k otevřené architektuře a harmonizovaným standardům. Cílem je vytvořit jednotnou sadu preferovaných protokolů, která sníží náklady na implementaci, usnadní údržbu po celou dobu životnosti zařízení (která u infrastruktury dosahuje až 20 let) a zajistí bezpečnou a včasnou distribuci informací napříč celým dopravním ekosystémem.

6 Shrnutí potřeb a úvah

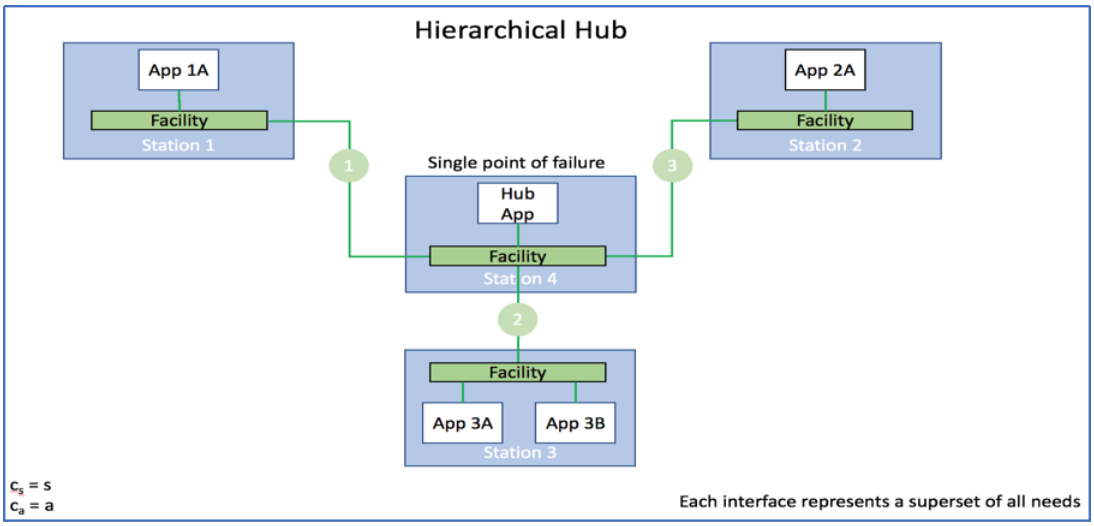
Tato kapitola se na stranách 11 až 21 zabývá analýzou potřeb a charakteristik pro distribuci dat v ITS. Cílem je definovat kritéria pro výběr vhodné technologie pro přenos informací mezi centry, vozidly a infrastrukturou.

Obsahem článku 6.1 jsou **typologie datových toků** a jejich vhodnost pro DDF. Analýza rozděluje informační toky podle jejich povahy a určuje, zda jsou vhodné pro systémy distribuce dat (DDF):

- **Vhodné pro DDF**: sdílení běžných informací (neurgentní data pro cestující, počasí, údržba) a plošné nouzové výstrahy (možný únos osoby, živelní pohromy apod.), které se šíří k velkému počtu příjemců;
- **Nevhodné pro DDF**: řídicí toky (přímé ovládání zařízení vyžadující autorizaci), interaktivní dialogy (typu „dotaz – odpověď“) a specifické nouzové řízení incidentů mezi centry, které vyžaduje potvrzení o přijetí (acknowledgement);
- **Podmíněně vhodné**: lokální výměny dat (krátkého dosahu), kde je kritickým faktorem extrémně nízká latence (pod 100 ms).

Článek 6.2 dále obsahuje klíčové charakteristiky a požadavky, které jsou definovány jako konkrétní technické parametry a slouží k výběru technologie. Lze je rozdělit do několika kategorií podle bezpečnosti, výkonu a funkcionality. Je zde požadavek na vysokou integritu a důvěrnost (standardy FIPS 140-2). Většina toků vyžaduje propustnost 10 kb/s, náročnější toky až 500 kb/s. Latence by neměla překročit 2 sekundy (u kritických aplikací 100 ms). Technologie by měla podporovat geofencing (omezení dat na geografickou oblast), filtrování obsahu podle potřeb odběratele a agregaci dat v síti.

V článku 6.3 je prezentováno srovnání topologií a protokolů. Zpráva identifikuje **čtyři základní topologické modely** (mesh, hub-and-spoke, peer-to-peer a hierarchický hub), které se liší složitostí kódu a odolností proti selhání. Každá z topologií je dokreslena grafickým schématem topologie, příklad je na následujícím obrázku:



Obrázek 1 (obr. 4 normy) – Topologie hierarchického hubu

Kapitola dále v článku 6.4 předkládá testované protokoly:

- **AMQP**: Flexibilní protokol, který podporuje různé topologie, vyžaduje však náročnou konfiguraci pro komunikace typu peer-to-peer;
- **MQTT**: Lehký protokol optimalizovaný pro IoT a zařízení s omezeným výkonem (Hub-and-Spoke);
- **OMG DDS**: Čistý peer-to-peer model s automatickým objevováním účastníků v síti, vhodný pro decentralizované systémy;
- **Apache Kafka**: Výkonná platforma pro streamování dat, fungující na principu Hub-and-Spoke.

Dále jsou uvedeny pro účel popisovaného dokumentu **nevhodné protokoly**: technologie jako CoAP, SNMP, SOAP či REST byly z analýz vyřazeny, protože nepodporují model „publikuj – odebírej“ (pub-sub), jsou orientovány pouze na text (XML), nebo jsou určeny výhradně pro statické propojení typu bod-bod (Mesh).

7 Shrnutí výsledků analýzy

Tato kapitola na stranách 21 až 32 pomocí analýz hodnotí výkonnost pěti implementací protokolů (AMQP, MQTT, Kafka, OSSDDS – open source DDS, CSSDDS – komerční DDS) v kontextu ITS.

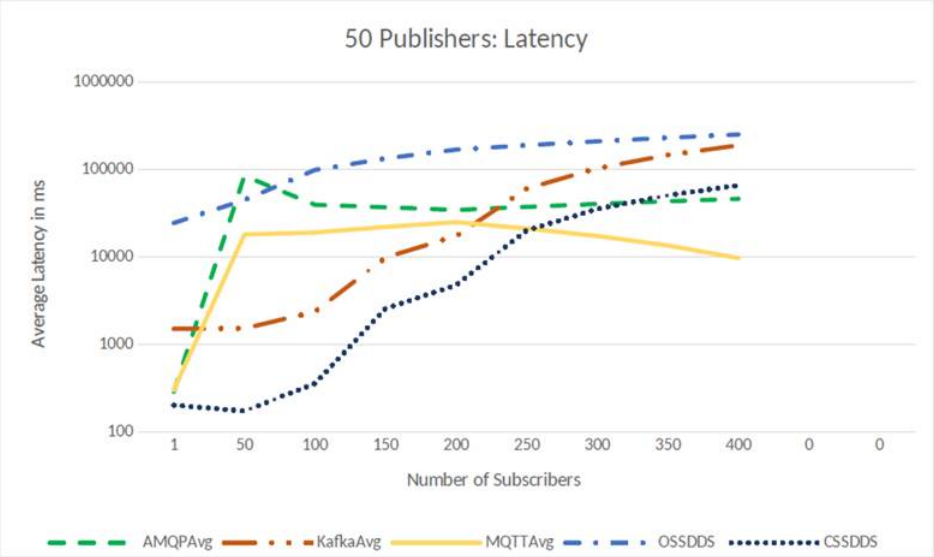
V článku 7.1 jsou prezentovány kvantitativní výsledky (výkon a latence). Testování probíhalo ve scénářích s různým počtem odesílatelů (Publishers) a příjemců (Subscribers). Latence je měřena od vytvoření dat po jejich doručení. Testovány byly následující scénáře:

- **Many2One** (od mnoha zdrojů k jednomu příjemci) – příkladem je sběr dat z vozidel. CSSDDS (komerční DDS) vykazuje nejnižší latenci, ale při 200+ odesílatelích začíná selhávat v doručování. AMQP je efektivní při nízké zátěži, ale nejhorší při vysoké (selhává nad 400 odesílatelů). Kafka je velmi konzistentní i při škálování.
- **One2Many** a **10-to-Many** (od jednoho nebo deseti zdrojů k mnoha příjemcům) – příkladem je distribuce dopravních informací z vozidla nebo skupiny vozidel do okolí. Kafka jako jediný protokol doručil 100 % zpráv ve všech testech, i když s mírně vyšší základní latencí (cca 1 s). OSSDDS (open source) při 10 odesílatelích

výrazně zvyšuje latenci (o 2 až 3 řády) a selhává při množství nad 100 příjemců. AMQP a MQTT mají limit latence kolem 10 s, pak začínají zahazovat zprávy.

- **50-to-Many** (od desítek zdrojů k mnoha příjemcům) – příkladem je distribuce dat z většího množství vozidel do okolí, např. při hustém provozu, kdy dochází k extrémní zátěži přenosové kapacity. Praktický limit testovaného prostředí byl 100 příjemců. Protokol Kafka zde poprvé vykázal výrazný nárůst latence, ale stále bez ztráty dat.

Výsledky jsou podpořeny grafickým znázorněním, příklad udává následující obrázek.



Obrázek 2 (nečíslovaný, v normě na str. 27) – Latence pro různý počet odběratelů při scénáři „50-to-Many“

V článku 7.2 jsou sumarizovány **kvalitativní a praktické poznatky**. Rozebrána je složitost konfigurace – protokol DDS je výrazně složitější na nastavení než „broker“ protokoly (Kafka, MQTT, AMQP). Vyžaduje definici datových struktur (IDL) již při kompilaci. Z hlediska architektury „broker“ protokoly izolují odesílatele a příjemce zpráv (neznají své IP adresy), podporují pouze TCP. Naopak u protokolu DDS účastníci znají své IP adresy. Podporuje TCP i UDP (UDP doporučeno pro data, TCP pro navazování spojení). Časová synchronizace je naprosto klíčová pro měření i reálný provoz ITS. Některé protokoly mají svá pozitivní i negativní specifika. Např. u protokolu DDS trvá proces navázání spojení delší dobu, což může vést ke ztrátě prvních zpráv. Naopak protokol Kafka dokáže uchovat starší zprávy ve frontě, které doručí příjemci ihned po jeho připojení. Z hlediska datové propustnosti (přenos velkých souborů) se ukázal jako nejvhodnější protokol Kafka, zatímco DDS v tomto testu nebylo možné ani nakonfigurovat.

Souhrnně lze na základě poznatků analýz konstatovat, že protokoly AMQP / MQTT mají nízkou latenci při malé zátěži (limit 10 s), ale při velké zátěži prudce klesá úspěšnost doručování zpráv. Protokol Kafka přináší vyšší základní latenci, ale je extrémně stabilní při libovolné zátěži. Je 100% spolehlivý pro přenos dat i při vysokém vytížení přenosů. Protokol OMG DDS nabízí nejlepší latenci (zejména jeho komerční verze), ale selhává dříve než Kafka při extrémní zátěži. Pro systémy vyžadující absolutní doručení dat při vysoké zátěži je tedy nejvhodnější protokol **Kafka**. Pro systémy s požadavkem na minimální latenci (real-time) dominuje **komerční DDS**, ovšem za cenu vyšší složitosti a rizika ztráty dat při přetížení.

8 Shrnutí charakteristik protokolů a použitelnosti pro ITS

Tato kapitola na 4 stranách poskytuje srovnávací tabulkový přehled čtyř klíčových komunikačních protokolů (AMQP, OMG DDS, Kafka a MQTT) z hlediska jejich technické zralosti, funkčnosti a vhodnosti pro nasazení v ITS. Zatímco AMQP a MQTT jsou zavedené ISO standardy zaměřené na efektivní komunikaci v IoT a centru (např. v projektech NordicWay nebo pilotních programech kooperativních vozidel v New Yorku), Kafka dominuje v oblasti zpracování datových proudů a vyniká nejlepší škálovatelností a spolehlivostí doručení, přestože není formálním standardem. Naproti tomu OMG DDS představuje specifický přístup datové sběrnice (Data Bus), který jako jediný nativně podporuje architekturu Peer-to-Peer a multicast, což je klíčové pro vozidlové systémy.

Z hlediska implementace je zdůrazňován zásadní rozdíl v nárocích na konfiguraci a hardwarové zdroje. MQTT je nejvhodnější pro zařízení s omezeným výkonem a šířkou pásma díky svému minimálnímu footprintu, zatímco OMG DDS nabízí bezkonkurenční flexibilitu a pokročilé bezpečnostní funkce (certifikáty X.509, šifrování AES), ovšem za cenu extrémní konfigurační složitosti. Protokoly založené na brokeru (AMQP, Kafka, MQTT) vyžadují centrální uzel, což omezuje jejich použití v přímé komunikaci mezi vozidly bez infrastruktury, kdežto DDS umožňuje dynamické objevování účastníků v síti.

9 Závěry a doporučení

Kapitola na 2 stranách shrnuje závěry z předchozích kapitol, z nichž to hlavní je již v tomto extraktu výše uvedeno. Hlavní myšlenkou je, že pro různé typy výměny dat (mezi centrálními prvky, infrastrukturou a vozidly/uživateli) je efektivnější využít stávající „middleware“ protokoly než vyvíjet vlastní řešení.

Příloha A (informativní) Testovací prostředí

Příloha má 3 strany, na kterých popisuje a graficky ilustruje testovací prostředí navržené pro ekonomicky efektivní analýzu protokolů, které využívalo síťový emulátor a pět dedikovaných virtuálních strojů k izolaci rolí brokerů (Kafka, AMQP, MQTT), odesílatelů a příjemců. Testování probíhalo formou spouštění samostatných vláken pro každého účastníka, přičemž výkon procesoru zůstával stabilní až do hranice 500 vláken a k validaci emulovaného prostředí byly využity reálné jednotky DSRC s propustností 2,4 Mb/s. Klíčové metriky se zaměřovaly na statistické vyhodnocení latence (průměr, medián, kvantily) a procentuální úspěšnost doručování zpráv v různých scénářích (viz kap. 7), přičemž standardizovaná zpráva měla velikost 500 bajtů a frekvenci 1 Hz.

Bibliografie

Kapitola o jedné straně obsahuje odkazy na 9 položek odborných internetových zdrojů, které se zaměřují na standardy pro přenos dat, komunikační protokoly a architekturu ITS. Seznam kombinuje široce využívané protokoly pro IoT a messaging vyjmenované v kap. 6 s konkrétními vládními a mezinárodními rámci pro kooperativní dopravu, zastoupenými projekty jako NordicWay nebo americkou architekturou ARC-IT. Formálně se jedná o technické reference, které slouží jako podklad pro výzkum interoperability a systémového návrhu v oblasti moderních vozidlových ITS. Kompletní seznam zdrojů je možné najít na webu Online Browsing Platform (OBP) ISO, který je k dispozici na adrese https://www.iso.org/obp.

© Silmos, s.r.o. 2018 - 2026. *Pomůžeme Vám se zorientovat v oboru Dopravní telematiky a najít správnou normu.*