



Вступ до Граничних обчислень в ІІоТ (Introduction to Edge Computing in IIoT)

Технічна документація ІІС

IIC:WHT:IN24:V1.0:PB:20180618

Edge Computing Task Group

Майже кожне використання і кожен підключений пристрій, на які орієнтований Консорціум промислового Інтернету (Industrial Internet Consortium - IIC) потребує певної обчислювальної здатності біля місця створення даних - на границі. Кілька джерел визначають граничні обчислення як «хмарні обчислювальні системи, які виконують обробку даних на краю мережі поряд з джерелом даних». Але це тільки невелика частина величезної потужності і дивовижних можливостей, які може забезпечити використання граничних обчислень для вирішення найскладніших промислових проблем інтернет-користувачів. Разом з цим, як і для будь-якої потужної технології, інноваційні розробки і нова термінологія, що необхідні для полегшення реалізації граничних обчислень, водночас ускладнюють її.

Мета та Аудиторія

Ця “біла книга” містить практичні рекомендації щодо граничних обчислень, архітектури і структурних блоків, необхідних для реалізації обчислювальних систем. Він визначає структурні функції периферійних обчислень та описує ключові варіанти використання.

Отже, необхідно визначити:

- де розташована границя
- її визначальні характеристики,
- основні фактори для впровадження периферійних обчислень,
- чому обчислювальні можливості повинні розгортатися на границі промислового інтернету речей (Industrial Internet of Things - IIoT).

Документ також інформує команди архітекторів та тестувальників про:

- визначення та оцінку стандартів, практичних застосувань і характеристик, найбільш придатних для комплексного використання периферійних обчислень,
- виявлення способів розгортання і функціоналу для використання граничних обчислень, які стосуються їх шаблонів і характеристик,
- вивчення та ідентифікація розширень для поточної моделі граничних обчислень, що підвищують функціональність пристроїв.

Виділено кілька детальних прикладів використання, в яких розглядаються концепція граничних обчислення для промислової аналітики та проблеми безпеки під час реалізації. (Детальну інформацію про безпеку від ІІС можна знайти в *Industrial Internet Security Framework*¹).

Точки зору та наскрізні проблеми

Цей документ орієнтований на технічну спільноту і зосереджується на функціональних і практичних поглядах *Industrial Internet Reference Architecture* ІІС² (ІІРА):

Функціональний погляд зосереджено на функціональних компонентах в усій системі ІІоТ, на їх структурі та взаємозв'язку, інтерфейсах і взаємодії між ними, та на взаємодії системи з дотичними елементами для підтримки діяльності всієї системи. Ці проблеми цікавлять системних архітекторів, розробників та інтеграторів (див. розділ 6 ІІРА).

З погляду реалізації розглядаються технології, необхідні для впровадження функціональних компонентів (функціональна точка зору), схем їх зв'язку та життєвого циклу. Ці елементи координуються відповідною діяльністю (з точки зору використання) і забезпечують потрібні можливості системи (точка зору бізнесу). Це важливо для системних архітекторів, розробників, інтеграторів та операторів системи (див. розділ 7 ІІРА).

Документ визначає атрибути периферійних обчислень, що відносяться до граничного (Edge), платформного (Platform) рівнів та рівня підприємства (Enterprise), описаних в ІІРА, а також наскрізні функції: управління даними, взаємодія, координація, аналітика і безпека.

Цей документ орієнтований на визначення моделей розгортання та схем реалізації граничних обчислень по декільком наскрізним функціям. На рисунку 1 показано багаторівневу структуру граничних обчислень з наскрізними функціями, які корисні при розгортанні визначених в ІІРА структур.

¹ "The Industrial Internet of Things; Volume G4: Security Framework," Industrial Internet Consortium (IIC), 2016: www.iiconsortium.org/IISF

² "The Industrial Internet of Things; Volume G1: Reference Architecture" Industrial Internet Consortium (IIC), 2018. www.iiconsortium.org/IIRA

Ми повністю усвідомлюємо, що програмне забезпечення, яке використовує граничні обчислення, є важливим компонентом реалізації і структури граничних обчислень, але величезний обсяг варіантів вибору операційних систем і платформ виходять за рамки цього документа.

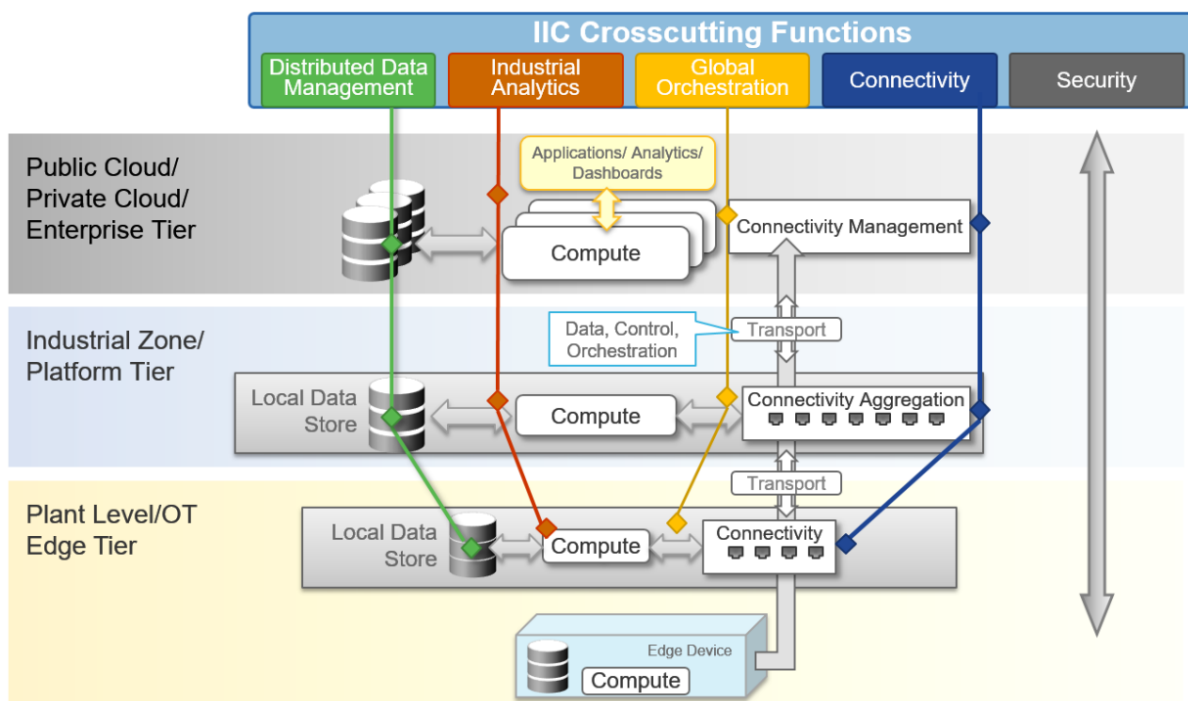


Рисунок 1. Наскрізнi функції в архітектурах концепції граничних обчислень

Де знаходиться границя?

Границя визначається скоріше як логічний рівень, а не певний фізичний поділ, тому вона відкрита для інтерпретації того, «де» вона знаходиться. Погляди зі сторони бізнесу та використання надають загальні уявлення, в той час як бачення з функціональної точки зору та реалізації стосуються технічних аспектів.

З погляду бізнесу, місце розташування границі залежить від бізнес-проблеми або «ключових завдань», які необхідно вирішити.



Quote

«Ключовими завданнями є кількісно визначені високотехнічні бізнес-результати, що очікуються від результуючої системи. ... » та «Основні можливості відносяться до високорівневих технічних характеристик щодо основної здатності системи - виконувати конкретні бізнес задачі». (IIRA)

Існує сукупність фундаментальних рішень для використання IIoT, і “границя” рухається по цьому спектру в залежності від вирішуваної проблеми, про що свідчать наступні приклади з типових промислових задач.



Рисунок 2. Граничні обчислення в типовому промисловому середовищі

Приклад 1: захист обладнання від перегріву

У цьому випадку «тупа» термпара вимірює температуру в насосі. Насос зі здатністю до граничних обчислень може виконувати базову аналітику для визначення виходу температури за допустимі межі та зупиняти насос практично миттєво. У такому випадку відсутня затримка прийняття рішень і немає необхідності підключення до мережі для виконання цієї функції. Хоча зв'язок може використовуватися для інформування про ситуацію. Цінність інформації про температуру з плином часу швидко спадає, оскільки затримка реакції може призвести до пошкодження обладнання. В цьому випадку границя знаходиться на рівні пристрою, так як вона може досягти ключової мети навіть якщо зв'язок з системами і мережами більш високого рівня перерваний.

Приклад 2: моніторинг продуктивності заводів або виробничих ліній

Продуктивність обладнання і виробничих ліній часто виражається через показники ефективності, такі як загальна технічна ефективність (Overall Equipment Effectiveness, OEE). Аналіз значень від кількох датчиків на ділянці обладнання може відбуватися практично в реальному часі на локальному шлюзі, забезпечуючи оперативний персонал чи системи даними щодо динаміки параметра OEE. В цьому випадку для забезпечення елементарної дієздатності необхідно отримувати інформацію з кількох технологічних джерел. Час отримання інформації грає важливу роль, оскільки затримки реакції в очікуванні рішень з хмари можуть призвести до значних втрат. Наявність такої проблеми вказує, що границя має знаходитися на рівні заводу.

Приклад 3: оптимізація ланцюга постачання для локації чи заводу двічі на день

Оптимізація процесів системи постачання для локальних об'єктів, заводів чи, наприклад, нафтових родовищ для застосування алгоритмів оптимізації і аналітики потребує даних від кількох джерел через короткі проміжки часу. Ці алгоритми адаптуватимуть плани постачання в таких бізнес-системах, як SCM або ERP. Для простої працездатності потрібен зв'язок на локальному чи заводському рівні з рішеннями, що були прийняті протягом останніх годин. Додаткова інформація за межами периметра заводу може бути корисною, але не обов'язковою для ефективної оптимізації. У цьому випадку границя знаходиться на периметрі заводу, фабрики або локального об'єкта.

Приклад 4: прогнозування відмов обладнання і планування превентивних заходів

Для прогнозування відмов електричних погрузних насосів (Electric Submersible Pump, ESP) моделі машинного навчання потребують даних від кількох платформ, що знаходяться за границею системи. Аналітичні моделі складні і потребують значного обсягу даних для навчання та перенавчання моделей. Вони також потребують регулярних потоків даних від працюючих насосів для визначення залишку терміну експлуатації кожної одиниці. Дані окремих ESP необхідно аналізувати регулярно, але

знецінення інформації відбувається набагато повільніше, ніж в інших випадках, тому рішення можуть бути щоденними або щотижневими. Обчислення зазвичай виконується на рівні підприємства з використанням загальнодоступного або приватного хмарного сховища і знаходиться у верхній частині границі.

Границя може знаходитися будь-де вздовж графіку «дані-час» (див. Рисунок 3), що демонструють наведені приклади.

Це і є «місцем», де дані датчиків використовуються для досягнення конкретної ключової мети або для вирішення конкретної бізнес-проблеми.

Навіщо обчислювати на границі?

Периферійні обчислення - децентралізована обчислювальна інфраструктура, в якій обчислювальні ресурси та програмні служби можуть знаходитися вздовж шляху від джерела даних до хмари. Тобто обчислювальні потреби можуть бути задоволені "на границі", де дані збираються, або де користувач виконує певні дії. Перевагами периферійних обчислень є:

- покращена продуктивність,
- дотримання вимог про конфіденційність і безпека даних
- менші експлуатаційні витрати.

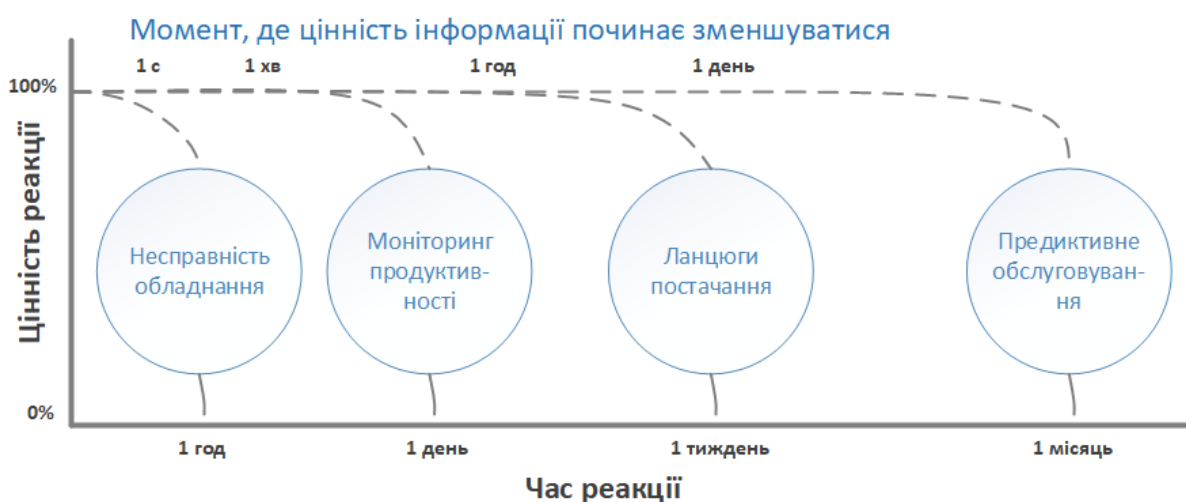


Рисунок 3. Графік “час-цінність” інформації від граничних пристроїв

Розглянемо кожну перевагу.

Покращення продуктивності

Граничні обчислення - це не тільки спосіб збирання даних для передачі в хмару, а також обробка, аналіз і миттєві дії над зібраними даними на границі, що і робить їх важливими для оптимізації промислових даних.

Наприклад, у вітроенергетиці, якщо змінюється швидкість або напрямок вітру, локальне програмне забезпечення може аналізувати ці дані в режимі реального часу і налаштовувати окремі турбіни для оптимізації загального виробництва вітрової електростанції. У хмару надсилаються тільки узагальнені дані, що знижує вимоги до пропускну здатності каналу зв'язку і зменшує тривалість передачі даних.

Крім того, турбіни генерують терабайти даних. Відправлення цих даних до хмари для виконання складної аналітики технологічно досяжним, але невиправдано дорогим для щоденного виконання. За допомогою периферійних обчислень кінцевий користувач може збирати поточні дані з турбіни і використовувати їх в режимі реального часу для попередження незапланованих простоїв і подовження терміну служби обладнання.

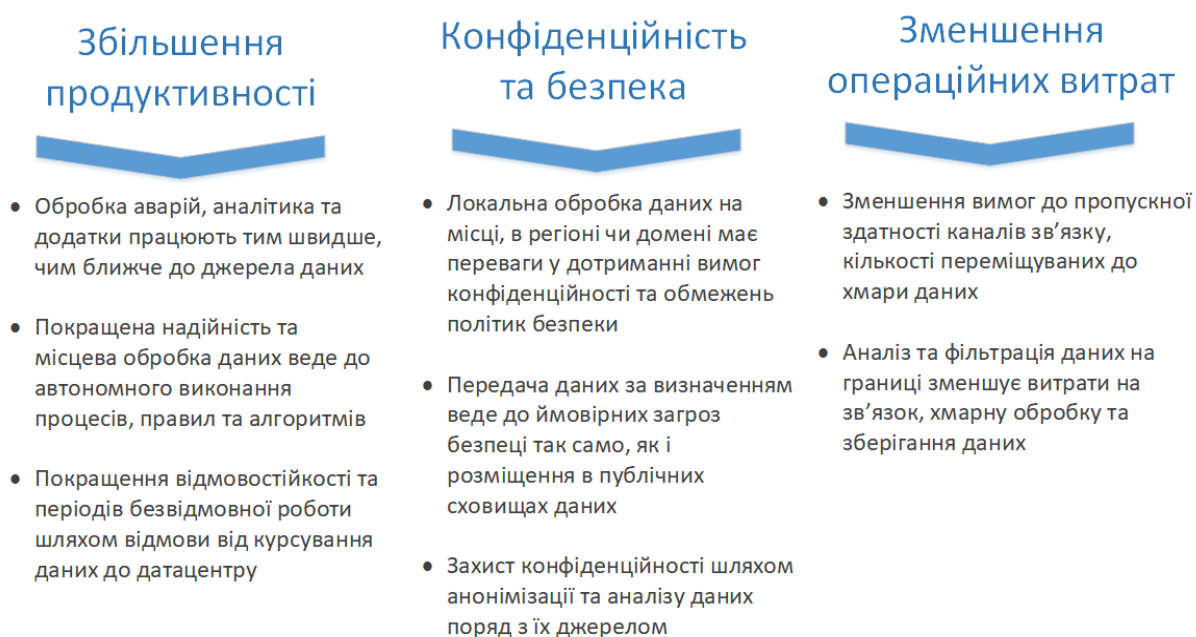


Рисунок 4. Переваги граничних обчислень

Проблема передачі великої кількості даних у реальному часі з мінімальними витратами від віддалених промислових об'єктів може бути пом'якшена шляхом використання інтелектуальних пристроїв на границі мережі - на рівні заводу або на польовому рівні. Обчислення на периферійних пристроях наближають можливості аналітики ближче до устаткування та забезпечують менш вартісний варіант оптимізації.

Дотримання конфіденційності і безпеки даних

Публічна хмара має довгий перелік питань до конфіденційності, нормативно-правового регулювання та дотримання встановлених вимог, пов'язаних з секретними або конфіденційними даними. На сьогоднішній день, постачальники послуг можуть гарантувати приватний доступ і контроль, однак за рахунок громіздкості, високої вартості, низької гнучкості та складності управління таких рішень. Граничні обчислення дозволяють підприємствам працювати незалежно, використовуючи публічну/приватну хмару з локальними обчисленнями, що розміщується в цій області, регіоні, домені або в необхідних межах локальної безпеки.

Зменшення експлуатаційної вартості

Підключення, перенесення даних, пропускна спроможність та затримка обчислень в хмарних технологіях коштують дорого. Граничні обчислення вирішують ці проблеми за рахунок зниження вимог до пропускної здатності і затримок.

Якщо, наприклад, для буріння нафтових і газових скважин в Нігерії потрібні розрахунки для прогнозування швидкості зниження видобутку нафти, альтернативними варіантами є створення власних центрів обробки даних (враховуючи відповідні обмеження за вартістю і масштабуванням) або використання послуг постачальників хмарних технологій (де найближчий центр обробки даних може знаходитися аж за 8000 кілометрів) зі значними грошовими витратами і ненадійним обслуговуванням. Завдяки граничним обчисленням кінцевий користувач може локально обробляти дані в режимі реального часу за невелику частину вартості публічної хмари, зберігаючи при цьому гнучкість, яку забезпечує хмарна інфраструктура.

Граничні обчислення утворюють елемент, необхідний для обробки великих обсягів створених з IIoT даних, що прямують від пристрою до хмари. Обробка даних ближче до місця, де вони генеруються, і в межах часу відгуку, який вимагають локальні додатки, вирішує проблеми швидкого зростання обсягу даних. Граничні обчислення зменшують час реакції на події, за рахунок виключення передачі даних в хмару і назад для проведення аналітики. Це дозволяє уникнути потреби нарощування пропускної здатності мережі, усуваючи необхідність передачі гігабайтів даних у хмару. Це також захищає конфіденційні дані IIoT, аналізуючи їх локально в приватній мережі.

Отже, підприємства, що використовують граничні обчислення, можуть покращити та оптимізувати операційні показники, а також, ефективно керуючи витратами, вирішувати питання безпеки та відповідності вимогам.

Схема прикладів граничних обчислень

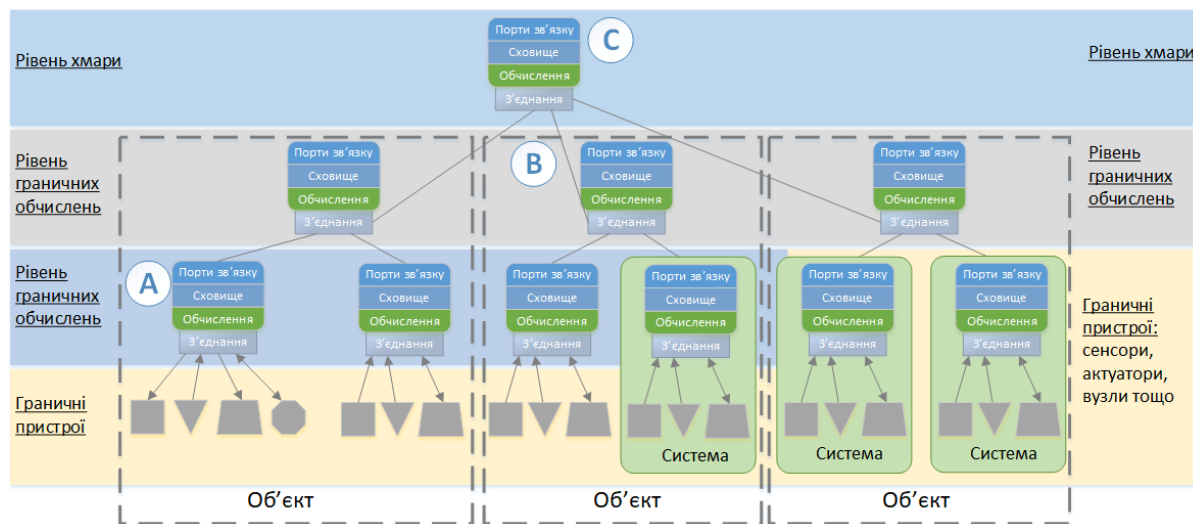


Рисунок 5. Топологія граничних обчислень

Рисунок 5 ілюструє кілька прикладів реалізації граничних обчислень на основі різних поглядів бізнесу. Приклади розглядаються зліва направо, по мірі ускладнення граничного рівня і об'єднання декількох системних функцій. Обчислювальний рівень переміщується вгору по ієрархії, об'єднуючи можливості обробки, інформацію та дані знизу.

Кілька наведених варіантів означають, що існує багаторівневий взаємозв'язок границь і хмар. Там, де це можливо, в цифровізації завжди буде використовуватись взаємодоповнюваність границі і хмари, де швидке і локалізоване обчислення відбуватимуться на периферії, а глобальні обчислення, розробки моделі, менеджмент і безпека можуть скористатися «мудрістю хмари».

Почнемо з прикладу простого регулятора температури (див. «А» зліва на рисунку 5).

Проблема, яку необхідно вирішити, - це моніторинг температури та керування конкретним пристроєм або зоною. У цьому випадку периферійними пристроями будуть термопари, що передають дані про температуру, та елемент, що забезпечує нагрівання або охолодження. Граничним же обчислювальним пристроєм буде регулятор температури, який виконує алгоритм керування і здійснює регулювання.

Якщо мета полягає в підтримці температури на декількох пристроях або ділянках, то границею стає сам регулятор температури (будь то окремі компоненти або автономні системи), а граничний обчислювальний рівень стає системою, що координує управління, як правило це ПЛК або SCADA система ("В" на рисунку 5).

Якщо комерційна мета полягає у моніторингу та управлінні кількома географічно віддаленими об'єктами, то границя кожного окремого об'єкта повідомляє про свій стан обчислювальному рівні в хмарі ("С" на рисунку 5).

Характеристика моделі граничних обчислень IIoT

Граничні обчислення є вертикальними в комплексному розумінні, від пристрою до хмари, і горизонтальними з погляду підсистем IIoT. Нова модель обчислень повністю розподілена і може підтримувати широкий спектр взаємодій і комунікаційних підходів, включаючи:

- однорангові мережі, наприклад, камери безпеки, які повідомляють про об'єкти в межах їх зон,
- співпраця граничних пристроїв, наприклад, самоорганізація транспортних засобів, які пересуваються разом, або вітрових турбін у віддалених місцях,

- розподілені запити за даними, що зберігаються в пристроях, хмарі та в будь-якому місці між ними,
- розподілене керування даними, визначення того, де, які дані, і як довго повинні зберігатися,
- управління даними, включаючи якість, зручність використання, конфіденційність та їх безпеку.

Ключові фактори: від хмари до периферійних обчислень

Нові сценарії IIoT змінюють модель хмарних обчислень, що призводить до таких вимог:

Чутливість до часу: часто рішення мають прийматися впродовж мілісекунд, а надсилання даних до хмари і назад призводить до небажаної затримки. З огляду на управління надійністю та критичним шляхом проходження інформації, використовувати виключно віддалену логіку занадто ризиковано. Показовим прикладом є безпілотні автомобілі: хоч алгоритм попередження аварій може виконуватись у хмарі, краще запускати алгоритми на краю.

Зв'язок: інфраструктура мобільної мережі, як правило, розміщується в густо населених міських районах, а після переміщується в сільські чи віддаленні райони. Для дійсно віддалених об'єктів єдиним варіантом може бути лише супутниковий зв'язок. Звідси виникла теорія, в якій приклади використання IIoT для таких галузей, як видобуток корисних копалин, хімічна промисловість та судноплавство, недостатньо забезпечені надійним і доступним зв'язком.

Межа даних: у деяких випадках дані, що генеруються та використовуються пристроями, надаються іншим пристроям лише в локальних межах. Ці дані можуть бути отримані та передані з низькою затримкою від граничних пристроїв до користувачів у локальній мережі. Залежно від випадку використання радіус території може варіюватися від декількох сантиметрів до цілого району або міста. У сценаріях розширеної реальності, наприклад, в розумних містах, локальні граничні інфраструктури можуть зберігати інформацію про сусідні визначні пам'ятки. Оскільки більша частина звернень до даних (або споживання даних) буде здійснюватися в одній локальній області, немає необхідності зберігати всю інформацію в хмарі. Коли дані переходять від приватної до

загальнодоступної мережі і через кордони держав, тоді і корпоративна політика, і місцеве регулювання даних визначатимуть, що може зберігатися локально, а що може бути відправлено в хмару.

Обсяг даних: обсяг даних, що генеруються датчиками, може бути величезним. Наприклад, сотні камер з високою роздільною здатністю, які створюють відеопотоки з частотою 30 кадрів в секунду, можуть перевантажити канали зв'язку. Граничні обчислення дозволяють обробляти та зберігати дані локально, коли до хмари передаються тільки попередньо оброблені дані.

Зближення ІТ/ОТ: історично операційні технології (Operational Technologies, OT), які використовувалися для управління та автоматизації промислового обладнання, існували на границі мережі, тоді як інформаційні технології (Information Technologies, IT) були більш централізованими. Хоча ці системи розглядаються окремо, важливо мати інтегровану стратегію ІТ/ОТ, яка пропонує:

- бізнес-дані, необхідні для інтерпретації чи співставлення даних IoT для прийняття рішень,
- наявність як існуючих, так і нових бізнес-результатів, бізнес-моделей, які використовують інтегровані дані і
- стандартні процеси для досягнення результатів.

Управління даними визначає рівень якості, зручності використання, конфіденційності та безпеки даних. Незадовільне управління даними може залишити компанію вразливою до значних збоїв у роботі. З іншого боку, надмірне управління даними може перешкоджати інноваціям. Периферійні обчислення допомагають спростити управління даними за допомогою:

- унеможливлення переповнення даних: великі обсяги часових показників технологічних параметрів можуть бути проаналізовані на границі,
- покращення зручності використання даних: граничні обчислення дають змогу співставляти дані, що покращує можливості їх застосування,
- поліпшення конфіденційності даних: політика безпеки на границі дозволяє використовувати лише відповідні дані,

- зниження впливу порушень безпеки: оскільки граничні обчислення дозволяють використовувати зберігання та аналіз даних, які необхідно об'єднати, вплив порушень безпеки може бути обмежений.

Приклади використання

Цей розділ описує випадки використання, що ілюструють переваги граничних обчислень. На рисунку 6 показані логічні об'єкти, що знаходяться в хмарі або на краю, з'єднаних через WAN. Коли вперше були введені хмари, існувала тенденція «перемістити все в хмару», але через затримки мережі і вартість передачі великої кількості даних, завдання більш пов'язані з логікою залишалися на периферії. Завдяки поліпшенню обчислювальної потужності та розширенню можливостей пристроїв, кількість завдань, що виконуються на границі, продовжуватиме зростати.



Рисунок 6. Схема логічної архітектури Граничних обчислень

Для полегшення обговорення границь та необхідних засобів для впровадження периферійних обчислень у кожному прикладі використання додаються пункти «Основні вимоги», «Границі» та «Граничні пристрої». «Основні вимоги» не відносяться до стандартів, тому вони не є нормативними. «Границі» - це бачення автора щодо варіантів використання, що не має на меті бути еталонним, бо, як правило, межі кожної служби або програми змінюються в залежності від рішень, використаних розробниками системи. Подібним чином, термін «Граничні пристрої», що використовується в прикладах авторами, насправді не обмежується наведеним переліком.

Ознайомившись з усіма описаними тут прикладами використання, ми зробили висновок про загальні вимоги до граничних обчислень, які були спільними для всіх випадків:

Зв'язок: граничні пристрої повинні продовжувати функціонувати навіть за умови, що передача даних може буде тимчасово перервана.

Можливості граничних пристроїв: граничні пристрої повинні підтримувати можливості периферійних обчислень: зв'язок, локальні обчислення і локальні сховища.

Функціональність граничного пристрою: граничним пристроєм можна надавати різні специфічні характеристики залежно від потреб різних галузей промисловості: компактні розміри, низьке енергоспоживання, антивібрація, електромагнітне екранування та водонепроникність.

Забезпечення безпеки персоналу

Мета: використовувати багатофункціональні детектори газу для моніторингу впливу шкідливих газів під час робочої зміни. Створити профілі впливу в режимі реального часу, використовуючи дані датчиків, і скоригувати графік роботи або послідовність виконання робіт, щоб попередити проблеми зі здоров'ям.

Опис використання: безпека в шкідливому або небезпечному для життя середовищі, наприклад видобуток в шахтах, є головним питанням. Є й інші питання, пов'язані з виробництвом, - стан використовуваних

інструментів, стан конвеєра або транспортних засобів, що застосовуються для переміщення руди, і обсягів руди, виробленої в обліковий період тощо.

Основні вимоги:

1. (Моніторинг навколишнього середовища) необхідно реалізувати можливості виявлення отруйних газів, визначення та контролю температури навколишнього середовища, керування освітленням;

2. (Персональний моніторинг) особиста система моніторингу основних показників стану організму повинна бути встановлена локально і дані будуть відправлені до центральної станції моніторингу в операційному центрі.

Границі: робоче місце (наприклад, в офісі експлуатації шахти або операційному центрі).

Граничні пристрої: особиста система моніторингу основних показників стану організму (температура тіла, частота серцевих скорочень і кров'яний тиск, рівень CO₂), персональний трекер, моніторинг навколишнього середовища (температура навколишнього середовища, рівень CO, виявлення небезпечного газу, освітлення), інструментів, вантажних автомобілів і автоматично керованих транспортних засобів, конвеєрних стрічок і вагових пристроїв.

Взаємозв'язок та відстеження стану автопарку

Мета: об'єднати дані GPS в реальному часі з даними про використання автомобіля від датчиків для моніторингу та оптимізації розташування та стану автопарку.

Опис використання: автотранспортна компанія повинна безпечно і ефективно експлуатувати свої транспортні засоби. На додаток до оптимальних маршрутів доставки, механічний стан кожного транспортного засобу може сприяти своєчасному обслуговуванню для підвищення ефективності та безпеки експлуатації. Таке управління зазвичай призначене для окремих вантажних автомобілів, але може бути розширене на декілька, щоб сформувати "загін" безпілотних вантажників для підвищення ефективності роботи.

Формування автоколон зазвичай використовується для безпілотних транспортних засобів. Перший автомобіль оцінює смугу руху та стан руху для визначення оптимальної швидкості для маневру. Ця інформація потім передається наступним транспортним засобам у колоні. Кожен автомобіль має комунікаційні можливості “автомобіль-з-автомобілем” та засоби управління для забезпечення безпеки руху. Перший автомобіль збирає інформацію, таку як розташування групи та робочий стан кожного транспортного засобу, та звітує до офісу.

Основні вимоги:

1. відстеження транспортних засобів на основі GPS, що підтримується локальною картою;
2. система моніторингу стану транспортного засобу встановлюється локально, і дані надсилаються до центральної станції моніторингу в операційному центрі;
3. централізоване підключення для оновлення трафіку.

Границя: перший автомобіль колони.

Граничні пристрої: моніторинг стану транспортного засобу (частота обертання двигуна, температура, товщина розриву та гідравлічна підсистема, підсистема передачі, вага, тиск в шинах, рівень палива та ін.), GPS трекер, моніторинг навколишнього середовища (температура навколишнього середовища, виявлення смуги), моніторинг стану контейнерів (для холодильного обладнання) та пристроїв безпеки V2V.

Предиктивне обслуговування підключених ліфтів

Мета: За допомогою додатків, встановлених на приєднаних до мережі ліфтах, оператори і технічні працівники здатні виконувати профілактичне обслуговування ліфтів на основі даних, які вони надають на границі.

Опис використання: Оператори підключених ліфтів, спираючись на прогностичні функції граничних пристроїв для обслуговування їхніх систем, підвищують надійність і зменшують часу простою. Експлуатаційні витрати цих систем значно знижується в той же час, як ефективність може бути значно покращена.

Підключений ліфт використовує багато датчиків для збору даних про шум, вібрацію, температуру тощо. Поточний стан ліфта може бути оцінений на основі аналізу отриманих даних. З ліфтами, підключеними до граничних обчислювальних пристроїв, де отримані дані завантажуються в хмару, оператори ліфтів можуть отримати поточний статус всіх ліфтів. Технічні працівники потім можуть виконувати попереджувальне технічне обслуговування з використанням даних граничних обчислень та даних у хмарі, для вибіркової перевірки і обслуговування ліфта, які, швидше за все, будуть виходити з ладу відповідно до даних аналітики. Предиктивне обслуговування підвищує ефективність роботи обладнання, знижуючи витрати на технічне обслуговування за рахунок цілеспрямованого запобігання збоїв та уникнення незапланованих простоїв.

Основні вимоги:

1. граничні пристрої пропонують відкриті API, які дозволяють третім особам розробляти додатки, що встановлюються на них;
2. для підтримки цілодобового моніторингу, граничні пристрої підтримують оновлення свого програмного забезпечення.

Границя: центр експлуатації ліфта або сам ліфт

Граничні пристрої: Інфрачервоні датчики, датчики ваги, диму, вібрації, шумові, камери та інтерфейси.

Відстеження продукції

Мета: Регламенти в харчовій промисловості (наприклад, ЕС128/2002) вимагають від виробників встановлення систем, що дозволяють простежувати харчові продукти на всіх стадіях виробництва, переробки та дистрибуції. Хоча цей випадок використання і зосереджується на харчовій промисловості, можливість відслідковувати продукцію важлива в різних галузях промисловості.

Опис використання: Шматочки пластику в шоколадних батончиках, бактеріальне забруднення вершків, помилково вказані інгредієнти в готових стравах на основі пасти - існує багато причин повернення харчових продуктів. Коли мова йде про повернення продукції, важливе значення має час. Окрім шкоди репутації виробника, такі ситуації можуть завдати

значних збитків, при чому витрати зростають, оскільки місцезнаходження кінцевої продукції невідоме.

Штрих-коди та 2D-коди або електронні радіомаячки використовуються для ідентифікації об'єктів залежно від того, чи це окремі предмети, первинна чи вторинна упаковка, піддони, вантажівки або контейнери. Коли йдеться про те, які технології використовувати, слід враховувати фінансові фактори, об'єкти і процеси. Наприклад, штрих-код може бути надрукований на яйці, в той час як коробки, що містять шість або дванадцять яєць, можуть бути позначені 2D кодами та доповнені звичайним текстом, таким як строк придатності. З іншого боку, можна додати радіомаячок до картонної коробки, піддонів або інших контейнерів. Різні описані методи ідентифікації забезпечують відстежування потоку матеріалів та продуктів по всьому ланцюгу постачання.

Промислове обладнання, автоматично керовані транспортні засоби (automated guided vehicles, AGV) і колаборативні роботи або «коботи» дедалі більше поширені на виробництві. Найбільш доцільним використанням є упаковка і палетизація, підйом і переміщення деталей, обслуговування станків, монтаж і контроль якості. Так як проблеми можуть виникати на будь-якому етапі ланцюга постачання, включаючи якість або обробку матеріалів, забруднення людьми чи машинами, несправність процесів, якість продукції та можливість відстежування продукту вимагає реєстрації та перевірки людей, процесів і машин, що беруть участь у процесі.

Датчики з обчислювальними можливостями дозволяють перевірити ці методи ідентифікації продукту відповідно до збережених даних для того, щоб упевнитися в забезпеченні потоку товарів, людей, процесів і машин. Відповідний продукт потрапляє у належний пакет і на полицю з коректною інформацією, що правильно відображається на упаковці і з повною історією виготовлення, доступною в хмарі.

Основні вимоги:

1. врахування умов навколишнього середовища при виборі граничних пристроїв у харчовій промисловості, такі як вологість і зберігання в холодильнику та на відкритому повітрі;

2. виявлення місця перебування та відстеження елементів є важливим на всіх етапах виробництва, переробки та розподілу;

3. датчики та системи машинного зору визначають тверді частинки або забруднюючі речовини в їжі;

4. сенсори та обчислювальні системи для організації, запису та перевірки задіяних людей, процесів і машин.

Границя: машина, на якій розташований датчик.

Граничні пристрої: зчитувачі штрих-кодів для 1D або 2D кодів, відеодатчики для запису зображень, RFID-мітки тощо.

Граничні обчислення та промислова аналітика

Аналітика, в широкому розумінні, визначається як дисципліна, що перетворює дані в інформацію та комерційну цінність шляхом систематичного аналізу. *Промислова аналітика* - це використання аналітики в системах IIoT.

Розширена аналітика лежить в основі переходу на новий рівень в обробці інформації і, що стосується машин, процесів та структур даних, передбачає нові цінну інформацію та знання для оптимізації прийняття рішень і забезпечення інтелектуальних операцій, що впливає на бізнес результати та соціальні цінності. Ці нові уявлення та знання можна застосовувати на будь-якому рівні у будь-якій галузі, якщо можливо зібрати відповідні дані та коректно провести їхній аналіз. Існує думка, що дані - це нова нафта. Якщо це так, то аналітика даних - це новий двигун, який стимулює IIoT трансформації.

Аналітична обробка даних може класифікуватися за багатьма різними ознаками, залежно від того, де вона виконується, який період часу для відповіді, і які функціональні можливості вони намагаються досягти. Один аналітичний потік може включати в себе граничну аналітику для попереднього визначення сутності даних і негайного спрацювання, та аналіз в хмарі, яка поповнює останніми даними з границі, історичні big data сховища і повертає результати назад до границі для подальшого їх застосування.

Технологія та еволюція промислової аналітики

Досягнення ІТ та ОТ можливостей, таких як обчислювальна потужність, пропускна здатність каналів зв'язку, низька латентність, можливості програмного забезпечення та сенсорна технологія усунули технологічні обмеження та дозволили розгорнути аналітику через всю систему IIoT. Наприклад, дивлячись на граничний рівень системи, можливості обробки на краю в поєднанні з низькою затримкою комунікації дозволили працювати алгоритмам в реальному часі, підтримуючи моделі, які генерують цінну інформацію та керуючий вплив на систему. Аналогічно, розглядаючи рівень хмари, те, що було колись непрактично - виконувати потокову аналітику величезних об'ємів даних - зараз стає можливо завдяки BigData і комунікаціям з високою пропускну здатністю. Ці ж досягнення також дозволили розподілити аналітичну обробку даних так, щоб зникла потреба в централізованих обчисленнях і з'явилась можливість впровадження їх в екосистему IIoT.

Де повинна виконуватися аналітика?

Більшість рішень впровадження промислової аналітики використовують гібридний підхід, де аналітики працюють на всіх рівнях від границь до хмари, і кожен її рівень відповідає конкретній бізнес-меті. Економічна вигода виникає через зменшення кількості даних, які надсилаються та зберігаються в хмарі. Периферійна аналітика зменшує витрати на зберігання і обробку малоцінних і часто повторюваних даних.

Шуми, які накладаються на дані, негативно впливають на аналітичні моделі. Для того, щоб уникнути непотрібної проблеми використання BigData з шумами, периферійна аналітика може відфільтрувати дані до відправлення в хмару.

Безпека периферійних обчислень

Безпека є важливим фактором для периферійних обчислень. Більша кількість компонентів і каналів зв'язку створюють більший потенціал для векторів атаки. Необхідні інновації для контролю, управління та

забезпечення безпеки глобально розподілених систем і попередження неминучих зломів. IISF документує узагальнену структуру безпеки. У реалізації периферійних обчислень:

- безпека повинна бути вбудована в кожен пристрій і рівень архітектури,
- комп'ютерні та мережні кінцеві точки повинні контролюватися та управлятися,
- необхідно застосувати останні патчі,
- атаки повинні бути ізольованими;
- пошкоджені компоненти повинні бути здатними до відновлення.

Оркестрація (Orchestration)

Централізований характер хмарних обчислень забезпечує доступ до масштабованого та адаптивного сховища спільних фізичних або віртуальних ресурсів. Так як обчислення розподіляються по границі, ресурси можуть все ще бути спільними, але їх адаптивність ставиться під сумнів, тому що:

- обчислювальні ресурси можуть бути на окремих ізольованих частинах системи, де вони не можуть взаємодіяти для координації обчислень,
- доступ до обчислювальних ресурсів може бути складним або дорогим,
- обчислення в захищених зонах можуть бути недоступними для розширення,
- технічним працівникам для виконання роботи може бути складно дістатися до граничних пристроїв.

З цими обмеженнями підхід змінюється на протилежний. Розуміння як і “вбудованих”, так і мережевих ресурсів має вирішальне значення для використання правильного програмного забезпечення в правильному місці. Після впровадження системи необхідно забезпечити її інструментами для управління, моніторингу та захисту впродовж всього життєвого циклу. Якщо доступні об'єми ресурсів змінюються, для програмного забезпечення може виникнути потреба урізання або

перерозподілу функціональності, обмеження використання пам'яті, скорочення баз даних та записів. Також необхідно прогнозувати динаміку використання для вирішення проблем до їх виникнення.

Завдання для розробників і адміністраторів полягає в тому, щоб зрозуміти не тільки фізичні вимоги до прикладного рівня (розрахунки входів, виходів, підключення тощо), а також вимоги до безпеки та обробки даних, і як ці вимоги змінюються в залежності від типу центрального процесора та операційної системи. Можуть знадобитися галузеві стандартні розрахунки та показники.

Двома основними напрямками діяльності, необхідними для забезпечення гармонійного поєднання елементів одного рішення, є:

- управління інфраструктурою для забезпечення життєвого циклу пристроїв на границі, включаючи введення в експлуатацію і забезпечення ресурсів
- оркестрація для управління життєвим циклом послуг, додатків і залежностей між ними.

Різні спроби стандартизації пояснюють оркестрацію як ETSI MultiAccess Edge Computing (MEC) та ETSI NFV Management and Orchestration (MANO).

Оркестрація та управління інфраструктурою на границі створює проблеми, з якими не зіткнулася б хмара, значною мірою завдяки:

Гетерогенність ділянок пристроїв і додатків: на границі не розглядається можливість однорідності пристроїв або апаратних і програмних платформ. Система управління інфраструктурою повинна бути достатньо гнучкою, щоб керувати безліччю пристроїв й ефективно використовувати їх ресурси. Для забезпечення деякого рівня однорідності на границі можна використовувати як технології віртуалізації, так і контейнеризації. Крім того, пристрої можуть вести себе по-різному в залежності від області застосування. Рішення координації для розумного заводу, де використовуються статичні вузли та надійна мережа, буде мати інші характеристики від координації системи логістики або розумного міста, де транспортні засоби постійно рухаються і підпадають під зміну якості зв'язку.

Різні технології зв'язку та комунікації: шлюзи IIoT повинні обробляти декілька варіантів підключення з використанням різних

протоколів. Координатор повинен знати про наявні рішення для гарантії зв'язку між розгорнутими функціями та додатками.

Відмінності в можливостях, вимогах і обмеженнях: вищий рівень однорідності і практично нескінченна доступність ресурсів у хмарі полегшує процес координації. І навпаки, на границі можна побачити ширший діапазон вимог до послуг, можливостей пристроїв і обмежень. Наприклад, пристрої на периферії мають різні датчики, приводи, операційну систему реального часу або мережі. Координатор повинен знати про можливості інфраструктури. Також необхідно заздалегідь знати обмеження на цих вузлах (наприклад, пропускну здатність, батарею, потужність процесора, пам'ять). Під час координації сервісна служба повинна вміти описувати свої вимоги, що будуть перевірятися на відповідність доступним можливостям і обмеженням, знайденим в інфраструктурі.

З огляду на це, координатори можуть працювати як вертикально, так і горизонтально. Вертикальні координатори обробляють служби в конкретній області, в той час коли горизонтальні керують службами в різних областях, що забезпечує інтеграцію між ними. Прикладом може бути розумний завод, що співпрацює з логістичною компанією, і кожен має свою власну систему координації. В такому випадку горизонтальна система координації співставляє служби, які охоплюють різні області (наприклад, сервіс, який регулює пропускну здатність виробничої лінії на основі поточного розташування необхідних запасів).

Оркестрація – це важлива частина граничних обчислень, що створює певну платформу для підтримки ІТ та ОТ-операцій в ІІоТ. Можливість координації для впровадження нових сервісів і додатків надає границі можливість бути програмованим та постачати послуги, необхідні його споживачам. Намагаючись забезпечити потрібну якість обслуговування, необхідно забезпечити його присутність в периферійних рішеннях.

Висновки

Граничні обчислення вже реалізовані в різних варіантах ІІоТ; тим не менш, необхідність модернізації граничних архітектур стала очевидною з появою хмарних обчислень. Швидке зниження вартості процесорів та

пам'яті дає змогу вдосконалити логіку прийняття рішень і зробити його ближче до місця, де створюються дані - на границі. Для промисловості стало очевидно, що «єдиний для всіх підхід» ніколи не був адекватним для IIoT. Вірно і те, що розробники системи IIoT завжди усвідомлювали, де знаходиться границя, і які пристрої в системі можна класифікувати як граничні. Розробники IIoT зіштовхнулися з проблемою реалізації архітектури, яка була б керованою, гармонічно скомпонованою, надійною та безпечною. Наступним етапом роботи буде розгляд цих проблем у технічному звіті.

Хоча ми і намагалися пояснити значення граничних обчислень для майбутніх систем IIoT, але ми знаємо, що це надскладне завдання, оскільки нові застосування IIoT і фактори з'являються щодня. Ми прагнули, щоб ця стаття викликала більш глибокі обговорення та заохочувала вас до участі.

Це не кінець, це лише початок.

Автори та правова інформація

Copyright © 2018 Industrial Internet Consortium, a program of Object Management Group, Inc. (“OMG”).

Цей документ є результатом роботи робочої групи Edge Computing Industrial Internet Consortium, під керівництвом Mitch Tseng (Huawei), Todd Edmunds (Cisco) та Lalit Canaran (SAP SE).

Автори: наведені нижче особи написали значну частину вмісту цього документу: Mitch Tseng (Huawei), Todd Edmunds (Cisco) та Lalit Canaran (SAP SE).

Учасники: наведені особи вносили цінні ідеї та надавали пропозиції, чим суттєво покращили зміст та якість цього документу: Pieter van Schalkwyk (XMPPro), Cliff Whitehead (Rockwell Automation), Mike McBride (Huawei), Mingui Zhang (Huawei), Prof. Thomas Magedanz (Fraunhofer Fokus), Mathias Santos de Brito (Fraunhofer Fokus), Eddie Lee (Moxa), Michael Thomas (SAS), Jill Oertel (SICK), Shi-Wan Lin (Thingswise), Will Sobel (VIMANA), Wael Diab

(Huawei), Eric Harper (ABB), Vijay Ujjain (PricewaterhouseCoopers) та Mark Crawford (SAP SE).

Технічний редактор: Stephen Mellor (IIC staff) контролював внески вказаних авторів та співавторів у загальний документ.

--

Перекладено з дозволу та за підтримки ІІС на Кафедрі автоматизації теплоенергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського

Автори перекладу: Олександр Степанець, Анастасія Захарченко, Богдан Іванов