

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra bezpečnostních služeb

**System správy front
(Queue management system)**

Radomír ŠČUREK

Michaela PAVLŮ

Obsah

Abstrakt.....	1
1 Fronty.....	2
1.1 Typy front.....	2
1.1.1 Dělení front podle způsobu jejich realizace.....	2
1.1.2 Dělení front podle struktury fronty.....	6
1.2 Line Stander	7
2 Systém správy front	8
2.1 Techniky měření a správy front	8
2.1.1 Fyzické bariéry	8
2.1.2 Přihlašovací a ohlašovací systémy správy front	9
2.1.3 Systémy automatického měření front	10
2.2 Hallovo pravidlo palce ve frontě.....	13
3 Teorie front	15
3.1 Zpracování požadavků zákazníků v jednotlivých subsystémech.....	15
3.1.1 Subsystem „single node queue“.....	16
3.1.2 Proces narození a smrti.....	16
3.1.3 Servisní disciplíny.....	17
3.2 Littleův zákon.....	18
Seznam použité literatury	19
Seznam obrázků.....	21

Abstrakt

Čekání ve frontách je trvalý, opakující se výjev v soudobé společnosti. Lidé se s frontami setkávají každý den od brzkého rána až do pozdních nočních hodin. Čekají ve frontách na toaletu ve vlastní domácnosti, čekají v dopravních zácpách, ve svém zaměstnání zpracovávají jednotlivé úkoly (obvykle seřazené do fronty), čekají u bankomatů při výběru vlastních financí, v supermarketech při koupi potravin, v restauracích během obědů, večeří, apod. Současně fronty nemusí tvořit pouze lidé, ale také věci, materiály či informace. Přičemž během čekání je ztracena nejcennější nereverzibilní komodita společnosti – čas.

System správy front není určen k eliminaci front, ovšem umožňuje jejich efektivní řízení, aby čekání nepředstavovalo pouze ztrátu času a nesnižovalo produktivitu čekajících, resp. celé společnosti. Pomocí širokého spektra nástrojů a exaktních teoretických poznatků, vycházejících především z výsledků matematických modelů teorie front, systém správy front umožňuje řešit řadu neoptimálně nastavených procesů čekání ve frontách v nejrůznějších průmyslových odvětvích a napomáhá tak utvářet efektivní a funkční systémy bez zbytečné ztráty času.

1 Fronty

Fronta, nebo také řada, označuje uskupení osob, materiálů či informací (dále jen „zákazníci“), kteří musí v určitý časový okamžik po určitou dobu vyčkat, než budou odbaveny. Obecně řečeno fronta označuje specifické přetížení systému, přičemž k tomuto přetížení dochází vždy, když se zákazník musí zařadit do fronty a čekat na své odbavení.

Místa, v nichž dochází k tvorbě fronty, se nazývají jako Oblast fronty (anglicky: *Queue area*). Souhrnně tento pojem označuje ta místa, na kterých zákazníci vyčkávají na odbavení. S těmito oblastmi se tedy lze setkat prakticky kdekoliv, kde je zákazníkům poskytováno zboží či služby, například v obchodech, u bankomatů či v prodejnách jízdních dokladů.

K řízení front se využívá Systému správy front (někdy též označovaného jako Systém řízení front; anglicky: *Queue management systém*), který je podrobněji popsán v kapitole č. 2 Systém správy front.

Procesem tvorby front a jejich šířením se zabývá Teorie front (někdy též Teorie řazení; anglicky: *Queueing theory*), která je charakteristická především aplikací matematických modelů pro studium chování front, potažmo zákazníků ve frontách. Teorie front je blíže specifikována v kapitole č. 3 Teorie front.

1.1 Typy front

Fronty jsou rozlišovány na základě několika hodnotících kritérií. Mezi nejčastější kritéria patří způsob realizace front a jejich struktura.

1.1.1 Dělení front podle způsobu jejich realizace

Na základě kritéria způsobu realizace front jsou rozlišovány fronty fyzické, virtuální a mobilní.

Fyzické fronty

Fyzické fronty lze označit za tradiční formu čekání zákazníků na jejich odbavení. První dochovaný zápis o fyzické frontě, tedy osobách stojících v řadě a čekajících na poskytnutí služby či zboží, je deklarován v knize *The French Revolution: A History* britského historika, spisovatele a matematika Thomase Carlyla z roku 1837, který se zaujetím ve své knize popsal do té doby neobvyklý výjev – osoby stojící v řadě při kupování chleba od francouzských pekařů v Paříži. V současnosti se s fyzickými frontami lze setkat kdekoliv tam, kde jsou poskytovány služby či zboží zákazníkům, například u prodejen jízdních dokladů, v supermarketech, maloobchodních prodejnách, muzeích, zábavních parcích či na letištních terminálech při provádění bezpečnostních kontrol.

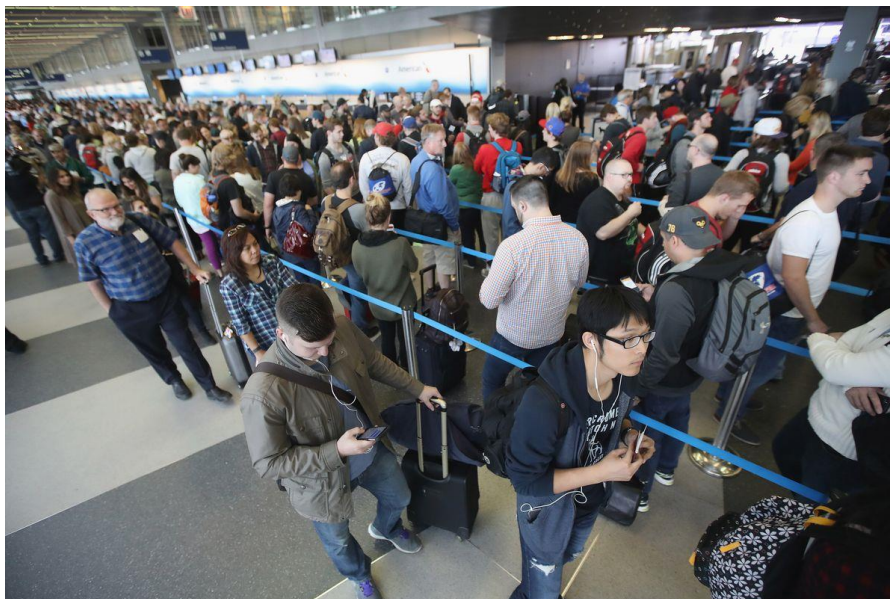
Zásadní roli při vytváření, šíření a správě fyzických front hraje také psychologie¹. Typicky u fyzických front v supermarketech či jiných velkých obchodech dochází k navýšení frustrace zákazníků, díky vyššímu počtu samostatných front, u kterých vznikají tendence rozdílné rychlosti poskytování služeb či zboží zákazníkům. Současně zákazníci podvědomě vnímají čekací dobu ve fyzických frontách až o 36 % delší, než je skutečná doba čekání.

Pro fyzické řady je taktéž příznačné předbíhání ve frontě (anglicky: *Cutting in line*). Dle provedených studií osoba, která předbíhá má více než 50% šanci, že ostatní osoby budou mít věcné připomínky k jejímu jednání. V případě fronty o dvou osobách je tato pravděpodobnost přibližně 91 %. Nejčastěji, až v 75 % případů, námitky vůči jednání předbíhající osoby vznáší právě předbíhaná osoba. Společnost, ve většině případů, obecně toleruje, předbíhání ve frontě osobami staršími, tělesně postiženými či například těhotnými ženami.

Fyzické fronty by měly být designově navrhovány tak, aby čekání bylo pro zákazníky co nejpříjemnější a nejjednodušší. Poskytovatelé služeb či zboží se proto snaží neustále navyšovat kapacity jednotlivých front v systému. Zejména prostřednictvím prodloužení a rozšíření fronty. Značného navýšení kapacity fronty je dosahováno například v případě navržení fronty ve tvaru „cik – cak“ (viz Obrázek č. 1:

¹ Psychologie se projevuje u tvorby, šíření a správě všech typů front, přičemž u fyzických front je nejvíce zřetelná díky trvalé fyzické přítomnosti lidského činitele.

Fyzická fronta „cik-cak“ s využitím fyzických bariér), který umožňuje za pomoci fyzických bariér² umístit vyšší počet čekajících zákazníků na menší plochu.



Obrázek č. 1: Fyzická fronta „cik-cak“ s využitím fyzických bariér

Fronty s designem „cik-cak“ rovněž umožňují přednostní odbavení předem definované skupiny zákazníků poskytovatelem služeb či zboží (viz Obrázek č. 2), což může opět zvýšit spokojenost zákazníků a tím i pozitivní zpětnou vazbu.



Obrázek č. 2: Fyzická fronta „cik-cak“ s využitím přednostního obslužení

² Fyzické bariéry jsou blíže specifikovány v kapitole č. 2.1.1 Fyzické bariéry.

Virtuální fronty

Dalším typem front jsou fronty virtuální, které v některých případech nahrazují fyzické fronty.

Virtuální fronty využívají systém vyhodnocování pořadových lístků pro identifikaci zákazníka v rámci procesu poskytování služby či zboží, tj. jeho místo v celém systému. Pořadové lístky mohou být číselně označovány, kdy číslo znázorňuje pořadí zákazníka a informuje ho o frontě, či nikoliv. Pořadí zákazníkovi bývá obvykle přiděleno po jeho přihlášení u vymezeného pracoviště (hovorově je toto přihlašování označováno také jako „*přihlášení u přepážky*“) nebo si zákazník odebere pořadový lístek z přístroje instalovaného na místě, kde je poskytována služba či zboží. Zákazníci jsou po zařazení do virtuální fronty vyvoláváni grafickým vyobrazením pořadového čísla na obrazovce instalované v prostoru určeném pro čekání zákazníků. Grafické zobrazení může být doplněno o akustický signál.

V současnosti někteří poskytovatelé služeb či zboží umožňují také instalaci mobilní aplikace, ve které si zákazník může zobrazit údaje o virtuální frontě v reálném čase.

Virtuální fronty dávají poskytovatelům služeb či zboží široké možnosti pro zpříjemnění a podvědomého zkrácení čekací doby zákazníků, čímž se zvyšuje i pravděpodobnost, že zákazník nezruší svou návštěvu u poskytovatele. Například v rušné restauraci zákazník čekající na své místo u stolu, může být přizván k baru. Současně alternativní aktivity zákazníků během čekání ve frontě umožňují poskytovatelům služeb či zboží další zdroj příjmů.

Mobilní fronty

Fyzické i virtuální fronty ovšem poskytují zákazníkům zásadní nevýhodu, kterou je nutnost dorazit fyzicky na místo poskytování služby či zboží, aby následně zjistili, že pro své odbavení musí vyčkat určitou dobu. Tuto výhodu do určité míry řeší fronty mobilní, také označované jako pohyblivé, se kterými je možné se v současné době setkat například u vybraných správních úřadů, na vysokých školách, v restauracích či zdravotnických zařízeních

Mobilní fronty umožňují zákazníkům vzdálené zapojení se do fronty s uvedením důvodu návštěvy poskytovatele služeb či zboží a zobrazování užitečných informací

o frontě v reálném čase prostřednictvím mobilního telefonu. Informace o frontě jsou zákazníkům nejčastěji poskytovány pomocí krátkých textových zpráv, e-mailů nebo mobilních aplikací, které jsou v současnosti již hojně rozšířeny, a jejich popularita mezi zákazníky roste. V Polsku funguje například aplikace *Stacz Kolejki*, která vyhrála v roce 2015 prestižní soutěž *Business Intelligence Hackathon API (BIHAPI)*. Instalace mobilních aplikací, které jsou vyžadovány před samotným zařazením do mobilní a virtuální fronty, ovšem prodlužuje reálnou čekací dobu zákazníků při první návštěvě místa poskytování služby či zboží. Využití mobilních aplikací je tedy vhodné především pro zákazníky, kteří opakovaně navštěvují stejné místo pro odbavení.

Nevýhodou mobilních aplikací je mimo jiné nízká univerzálnost jejich použití. Ne každý poskytovatel služby či zboží využívá stejnou aplikaci (zde do jisté míry rozhoduje také konkurence jednotlivých poskytovatelů služeb či zboží), a zákazník je tak nucen instalovat pro odbavení vyžadovanou konkrétní mobilní aplikaci, čímž dochází k nežádoucí kumulaci mobilních aplikací s totožným účelem v mobilním telefonu zákazníka.

U mobilních aplikací je taktéž vysoká míra rizika zneužití pro sledování zákazníka nebo marketingové účely.

Naopak výhodou mobilních aplikací, resp. mobilních front, je navýšení komfortu zákazníků (ve srovnání se strukturovanými a nestrukturovanými frontami), a to díky absenci trvalé fyzické přítomnosti zákazníka ve frontě. Zákazníci také mohou v případě mobilních front snadno poskytnout zpětnou vazbu v reálném čase, jež je jedním ze základních, rozhodných faktorů při navyšování efektivity systému a jeho úpravách.

1.1.2 Dělení front podle struktury fronty

Dle struktury fronty jsou rozlišovány fronty strukturované, nestrukturované a mobilní fronty (označované také jako virtuální), které byly řešeny v kapitole č. 1.1.1 Dělení front podle způsobu jejich realizace.

Strukturované fronty

Strukturované fronty (anglicky: *Queue Managers*, *Crowd Controllers*, *Public Guidance System*) jsou tvořeny zákazníky na pevných, předvídatelných pozicích. Tento

typ se vyskytuje například v supermarketech či maloobchodních místech (banky, nádraží, letiště a další).

Často bývají strukturované fronty doplněny o vyhodnocování pořadových lístků pro identifikaci zákazníka v rámci systému. Tento proces tak mimo jiné zajišťuje klidné čekání s minimem stresu pro zákazníka.

Správa strukturovaných front zahrnuje také „manuální prvek“ v podobě lidského činitele, personálu, který je schopen kvalifikovaně monitorovat a vyhodnocovat délky front s cílem vedení zákazníků čekajících ve frontě. Personál je rovněž oprávněn provádět úpravy strukturovaných front, například přidáním pokladního, za účelem urychlení celého procesu poskytování služby či zboží zákazníkům.

Strukturované fronty je dále možné rozšířit o různé možnosti, mezi které lze zahrnout zejména plánované přijetí na základě vytvořené schůzky, vzdálené přidělení pořadí zákazníkovi ve frontě a poskytnutí informace zákazníkovi prostřednictvím krátké textové zprávy.

Nestrukturované fronty

Naproti tomu nestrukturované fronty jsou tvořeny různými směry na odlišných a do jisté míry nepředvídatelných místech. S tímto typem se lze setkat například u některých forem maloobchodu, u bankomatů či na různých místech v období vysoké poptávky (například před vánočními svátky). Nestrukturované fronty je možné doplnit o fyzické bariéry, které usměrňují tok zákazníků.

1.2 Line Stander

S frontami je často spojován také tzv. *Line Stander*, neboli *Queue Stander*, tedy osoba stojící ve frontě namísto jiné osoby za poskytnutí určité výhody, nejčastěji finanční. Jedná se o určitý druh profese, kdy *Line Stander* stojí ve frontě namísto jiného, aby dotyčná osoba nemusela být trvale fyzicky přítomna a mohla řešit své další záležitosti. Tato profese se těšila velké oblibě zejména v 80. letech 20. století ve státech, kde byla ekonomika řízena centrálně a některé služby či zboží byly zákazníkům poskytovány pouze v omezeném množství. S přechodem ekonomiky na volný trh tato profese téměř vymizela, ovšem lze se s ní stále setkat například ve frontách na úpisy akcií.

2 Systém správy front

Systém správy fronty představuje sadu nástrojů a dílčích subsystémů, jež napomáhají k řízení toku zákazníků a čekací doby. Systém správy front zahrnuje také navyšování pozitivních zkušeností a zpětné vazby ze strany zákazníků. S řízením front je možné se setkat v řadě průmyslových odvětví, například v maloobchodu, školství, zdravotnictví, telekomunikacích či státní správě.

2.1 Techniky měření a správy front

Existuje řada technik využívaných pro měření a správu front při poskytování služby či zboží zákazníkům. Těmito technikami jsou například fyzické bariéry, přihlašovací a ohlašovací systémy, či systémy automatického měření front.

2.1.1 Fyzické bariéry

Fyzické bariéry, coby mechanické zábranné systémy, jsou využívány k vedení toku zákazníků, a to již od počátku tvorby fronty. Jedná se o nejefektivnější metodu správy front, která zřetelně vymezuje prostor pro čekání zákazníků na odbavení.

V současnosti existuje řada technických provedení fyzických bariér, které nabízejí více či méně možností jejich instalace a využití, viz Obrázek č. 3 a Obrázek č. 4. Fyzické bariéry lze, s ohledem na jejich konstrukci, instalovat pro oddělení více souběžně vedených front, tak i za účelem úpravy řízení jedné fronty (například při snaze o zvýšení kapacity fronty pomocí designu fronty „cik-cak“ umožňujícím umístění vyššího počtu zákazníků na menší plochu).



Obrázek č. 3: Fyzické bariéry s pevnými stojany a odnímatelnými středovými pásy



Obrázek č. 4: Fyzické bariéry s celokovovou konstrukcí

2.1.2 Přihlašovací a ohlašovací systémy správy front

Běžné systémy správy front fungují na principu příchodu zákazníků do prostor odbavení, kteří pomocí přístroje (kiosku) určí důvod své návštěvy poskytovatele služeb či zboží. Ten současně s požadavkem zákazníka získává také soubor informací o něm. Naproti tomu přihlašovací a ohlašovací systémy správy front (anglicky: *Signage and signaling systems*) jsou doplněny o obrazovku, na které je zákazníkům zobrazována informace o jejich pořadí ve frontě, délce fronty a trvání čekací doby. Zákazníci jsou po uplynutí čekací doby prostřednictvím obrazovky vyzváni poskytovatelem služeb či zboží k jejich odbavení. Cílem těchto systémů je podání informací zákazníkům v reálném čase pro zefektivnění tvorby, šíření a řízení front a také stanovení očekávané doby odbavení.

Novější přihlašovací a ohlašovací systémy využívající například mobilní telefony zákazníků umožňují kromě zobrazení informací o frontě v reálném čase, také možnost připojit se vzdáleně do fronty. Díky tomu se uživatelé těchto technologií (zákazníci) nemusí připojovat k fyzické frontě a sledovat oznámení o ní na obrazovkách poskytovatele služeb či zboží spolu s dalšími osobami. Poskytovatel služeb či zboží vyzve zákazníka k příchodu na místo odbavení až v okamžiku, který předchází ukončení čekací doby. Z uvedených důvodů jsou tyto systémy zákaznický přívětivější, čímž zlepšují zpětnou vazbu od zákazníků.

2.1.3 Systémy automatického měření front

Systémy automatického měření front (anglicky: *Automatic queue measurement systems*) využívají široké spektrum měřících technologií pro stanovení pravděpodobné délky front a čekací doby zákazníků, a měření těchto hodnot v reálném čase. Komparace předem stanovených a získaných reálných hodnot tvoří podklad pro poskytovatele služeb či zboží při rozhodování o přerozdělení, především finančních, prostředků. Vyhodnocování reálných dat a jejich komparování s předem stanovenými předpoklady tedy slouží ke snižování nákladů za současného navyšování efektivity systému, protože prostředky mohou být investovány do přesně definovaných slabých míst (poskytovatelé služeb či zboží mohou využít například také pravidla ALARA (ALARP) pro stanovení výše vložených prostředků v porovnání s mírou rizika u identifikovaných slabých míst).

V praxi jsou rozlišovány, na základě velikosti a struktury front, dva základní typy systémů automatického měření front, a to systémy určené pro malé a strukturované fronty a systémy využívané u velkých a nestrukturovaných front. O systémech automatického měření front můžeme hovořit také ve spojitosti s komplexním řešením přijímání zákazníků u poskytovatele služeb či zboží.

Systémy automatického měření front pro malé a strukturované fronty

Systémy automatického měření front využívané u malých a strukturovaných front pomáhají správcům front poskytovatele služeb či zboží kvalifikovaně řídit fronty skrze zdokonalený zákaznický servis, zvýšenou účelnost a také snížení vynaložených prostředků.

Pro automatické získávání hodnot o frontách v reálném čase je využíváno senzorů počtu osob vstupujících do systému u vchodů a nad místy, kde dochází k odbavení (například pokladny), případně nad oblastmi front. Tyto senzory také získávají informace o chování jednotlivých zákazníků ve frontách, dynamické délce front, průměrné čekací době či výkonech odbavovacích míst. Integrované algoritmy senzorů, které pracují s předpověďmi vycházejícími z empiricky zjištěných hodnot a faktů stanovených na základě „objektivní reality“, mohou upozorňovat obsluhující personál systému (například manažera či správce systému řízení front) na aktuálně potřebný počet odbavovacích míst pro uspokojení vzniklé poptávky při zachování pozitivní zpětné vazby

zákazníků a požadované úrovni využití dostupných zdrojů, včetně finančních prostředků a optimálně výkonných míst k odbavení zákazníků.

Systémy automatického měření front pro velké a nestrukturované fronty

Systémy automatického měření front využívají pro malé a strukturované fronty nelze využít v případě, kdy oblasti front nejsou relativně malé a/nebo se vytváří na neočekávaných místech. Díky tomu je u velkých a nestrukturovaných front využíváno alternativních měřících technologií spočívajících v získávání vzorků front z velké oblasti. Měření front z pohledu počtu zákazníků, délky čekací doby a sledování chování zákazníků ve frontách je velmi užitečné například při sledování provozu v letištních halách, protože monitorování situace v reálném čase navyšuje mimo jiné také úroveň bezpečnosti systému.

Vzorky potřebné pro sběr dat o frontách mohou být získávány pomocí metody spočívající v detekci aktivní technologie Bluetooth v mobilních telefonech zákazníků. Ačkoliv Bluetooth má obvykle zapnuto 30 – 60 % zákazníků, lze výsledky měření průměrné délky čekací doby touto metodou považovat při dlouhých frontách za přiměřeně exaktní. Pro přesnější výsledky měření je výhodnější použití počítadla osob, protože tato metoda se lépe aplikuje na neustále měnící se vzorky front. Současně je však v porovnání s metodou využívající technologii Bluetooth nákladnější.

Systémy automatického měření front pro komplexní řešení přijímání zákazníků

Pro komplexní řešení přijímání zákazníků se využívá systémů automatického měření front, které umožňují správcům / manažerům správ front účelné řízení front, a to již od příchodu zákazníka až po jeho konečné odbavení. Přičemž tyto systémy kromě zpětné vazby zákazníků, zvyšují také produktivitu personálu poskytovatele služeb či zboží, prostřednictvím neustálého růstu spokojenosti pracovníků na odbavovacích místech, resp. v celém systému, při současném snižování stresu na pracovišti a optimalizaci procesu zpracování jednotlivých požadavků zákazníků.

Systémy automatického měření front pro komplexní řešení přijímání zákazníků zahrnují 6 základních procesů, které lze rozšířit v případě potřeby poskytovatele služeb či zboží o další modulární řešení správy front.

Mezi tyto elementární procesy patří:

- a) informování a příchod zákazníka na místo odbavení,
- b) alokace prostředků a přesměrování zákazníka dle jeho požadavku,
- c) čekací doba zákazníka ve frontě a komunikace s ním,
- d) přizvání zákazníka a jeho odbavení,
- e) správa požadavků zákazníků a sběr dat pro statistické analýzy (v reálném čase),
- f) prognózy správy front.

Dále systémy pro komplexní řešení přijímání zákazníků umožňují vytvářet, pomocí získaných dat z monitorování a vyhodnocování front a požadavků zákazníků, podklady odpovídající na otázky typu: „Jaké jsou potřeby zákazníků?“, „Jakým způsobem je schopen personál odbavovacího místa požadavkům zákazníka nejlépe vyhovět?“ či „Jakou kvalifikaci by měl mít obsluhující personál, aby naplnil očekávání zákazníka?“. Dále tyto systémy prostřednictvím funkce tzv. „spravedlivého přijetí“ poskytují zákazníkům záruku, že budou obsluhováni na základě pořadí, ve kterém se dostavili na odbavovací místo (resp. se zařadili do fyzické či mobilní fronty) v souladu s předem stanovenými podmínkami poskytovatelem služby či zboží³.

Výše zmíněné i další vytvářené a využívané poklady, funkce a metody (například metody predikce průměrné délky čekací doby; metody monitorování, vyhodnocování a zkracování skutečné délky čekací doby; podklady pro správce front a další zainteresované osoby napomáhající s tvorbou prozákaznický orientovaného prostředí) zásadně napomáhají zlepšovat úroveň pozitivních zkušeností zákazníků s odbavovacím místem, resp. celým systémem, což má vliv také na tržby poskytovatele služeb či zboží, protože spokojení zákazníci se k poskytovateli obvykle vrací a svou zkušenost (pozitivní i negativní) sdílí s dalšími osobami (rodinnými příslušníky, přáteli, atd.), tedy potenciálními novými zákazníky. Současně výstupní data systémů automatického měření front pro komplexní řešení přijímání zákazníků mohou být použity při organizačních změnách, navyšování kvality jednotlivých služeb či zboží poskytovatele či optimalizaci systému jako celku.

³ Poskytovatel služeb či zboží může, dle své obchodní strategie, například stanovit, že nejprve budou řešeny požadavky věrnostního programu či zákazníci mobilních front.

2.2 Hallovo pravidlo palce ve frontě

Při správě front je často využíváno Hallovo pravidla palce ve frontě (anglicky: *Hall's Queuing Rule of Thumb*; dále jen „QROT“). Tento matematický výpočet pro řazení osob do fronty s omezujícími podmínkami (1) je používán k aproximaci serverů poskytovatele služeb či zboží (např. pokladen, přepážek s obsluhujícím personálem) potřebných pro zpracování dané fronty.

$$s > \frac{N \cdot r}{T} \quad (1)$$

kde,

s = počet serverů poskytovatele služeb či zboží,

N = celkový počet požadavků žadatelů neboli zákazníků,

r = doba poskytování služby jednomu zákazníkovi,

T = maximální doba pro zpracování fronty.

Vztah pro stanovení odhadu serverů nutných pro zpracování fronty (1) lze odvodit pomocí dalších proměnných, mezi které patří intenzita vstupního provozu (λ) vyjadřující poměr celkového počtu zákazníků (N) a maximální doby pro zpracování fronty (T). A dále míra služby (μ), v literatuře též označovaná jako cena služby, která je dána převrácenou hodnotou doby poskytování služby jednomu zákazníkovi (r). Při odvozování aproximace serverů potřebných ke zpracování fronty je také vhodné brát v úvahu poměr intenzity vstupního provozu (λ) a míry služby (μ):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

Je nutné také předpokládat, že při výpočtu potřebných serverů nesmí být využití celkového systému front přesáhnout hodnotu 1 (3):

$$U = \frac{\rho}{s} < 1 \quad (3)$$

Kombinací výše uvedených matematických vzorců je získán vztah (4), ze kterého je zjednodušením vytvořeno QROT v obecném znění (1).

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{N \cdot r}{T} \cdot U = \frac{\rho}{s} = \frac{N \cdot r}{T \cdot s} < 1 \quad (4)$$

V případě, že by v tomto vzorci (1) bylo namísto nerovnosti použito znaménko rovná se, došlo by ke stanovení absolutního minimálního počtu serverů při zachování nejnižší možné kvality služeb. Přičemž není možné dále snižovat počet potřebných serverů, aniž by nebyla omezena poptávka zákazníků, prodloužena doba poskytování služby či maximální doba pro zpracování fronty.

QROT je do určité míry multimodální, díky čemuž bývá zpravidla aplikován jako hrubá heuristika při správě front, u které je také možno provést úpravy při současném zohlednění obecného znění tohoto pravidla. Na rozdíl od standardních vzorců, využívaných při řešení potíží v problematice front, nevyžaduje QROT pro zjištění potřebných serverů zapojení pravděpodobnosti či hlubší znalosti z oblasti teorie front. Ovšem QROT může být právě z důvodu nevyužívání pravděpodobnosti či teorie front považován za nepřesný. A vzhledem k tomu, že současný trend vývoje teorie front i systému správy front směřuje spíše směrem vyšší přesnosti a využívání složitějších matematických a statistických výpočtů, se od QROT upouští (pochopitelně mimo oblast obecného vysvětlení základních principů správy front).

3 Teorie front

Teorie front (anglicky: *Queueing theory*) označuje soubor znalostí o očekávaném chování zákazníků ve frontách na základě explicitně stanovených předpokladů. Předpoklady jsou obvykle stanovovány pomocí různých matematických modelů, díky kterým je možné předvídat délky jednotlivých front, pravděpodobnou dobu čekání zákazníků a jejich chování ve frontě. Za přímý výstup teorie front je považováno měření účinnosti nebo provozní charakteristiky měřící výkon systému správy front.

V případě, že systém poskytovatele služeb či zboží splňuje podmínky základních modelů využívaných v teorii front, lze snadno využít vzorců, mezi které patří například Littleův zákon (viz kapitola č. 3.2 Littleův zákon), ke stanovení předpokladů dlouhodobého jednání zákazníků v systému front. Jestliže tyto podmínky nejsou zcela splněny, nemusí být modely správy front plně odpovídající, tj. výsledky matematických výpočtů nemusí být pro konkrétní systém poskytovatele služeb či zboží přesné. Výstupy teorie front lze i přesto efektivně použít pro srovnání různých variant při optimalizaci v systému správy front. Z těchto a dalších důvodů je teorie front poskytovateli služeb či zboží považována za součást operačního řízení celého systému, protože výsledky procesu tvorby front a jejich šíření bývají stěžejní pro řadu obchodních rozhodnutí o přerozdělení zdrojů nutných k poskytování služeb či zboží.

Za původce teorie front je považován dánský matematik a statistik Agner Krarup Erlang, který ve svém výzkumu z roku 1909, kde prezentoval modely popisující systém dánské telefonní společnosti Copenhagen Telephone Exchange. Jeho práce se zabývala modelací počtu telefonních hovorů přicházejících na burzu pomocí Poissonova procesu⁴.

3.1 Zpracování požadavků zákazníků v jednotlivých subsystémech

V teorii front se jednotlivé subsystémy zahrnující prostory pro čekání zákazníků a odbavovací místa pro vyřízení jejich požadavků (v literatuře označované také jako uzly front) pro zjednodušení považují za téměř dokonalé černé skříňky, kdy zákazníci dorazí do fronty pro odbavení, vyčkají v ní určitou dobu, následně jsou obslouženi a odchází pryč ze systému. Nejedná se ovšem o zcela přesné označení, protože uvnitř těchto

⁴ Poissonův proces označuje matematický popis udávající počet jevů, které nastaly náhodně za určité časové období, tj. model jevů nastávajících zcela nezávisle na sobě.

„černých skříněk“, tedy v subsystémech, se odehrává řada dílčích procesů, o nichž správci/manažeři systémů správy front musí mít dostatečné informace.

Matematicky jsou jednotlivé subsystémy popisovány zpravidla pomocí Kendallových notací ve formě $A/S/c$, kde proměnná A označuje rozložení doby mezi jednotlivými příchody zákazníků do fronty, proměnná S dobu potřebou pro zpracování požadavků zákazníka a hodnota c počet serverů, tedy míst k odbavení.

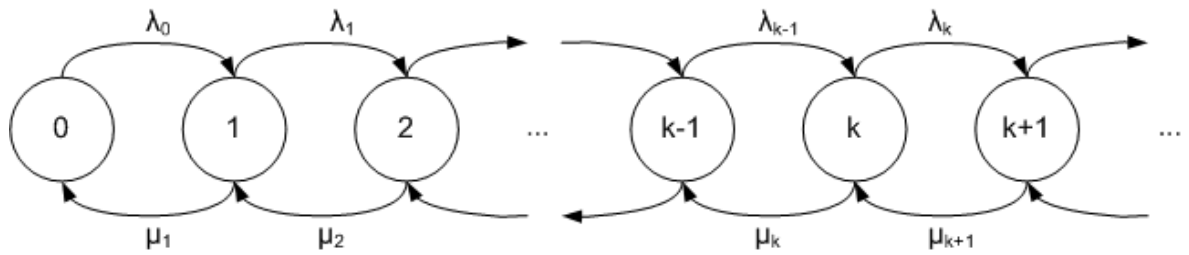
3.1.1 Subsystém „single node queue“

Při zpracovávání požadavků zákazníků bývá obvykle využíváno subsystémů „single node queue“ (v českém překladu: „*Subsystémy s osamoceným uzlem fronty*“) s alespoň třemi servery, tedy odbavovacími místy, poskytovatele služeb či zboží, kdy každý server zpracovává právě jeden požadavek, a ostatní zákazníci čekají ve frontě. První server je považován za nečinný a je tedy schopen okamžitě zpracovat požadavek právě příchozího zákazníka do systému; druhý server je zaneprázdněn (odbavuje již dříve příchozího zákazníka) a třetí server, u kterého je aktuálně dokončováno odbavení zákazníka a server je tak připraven pro přijetí dalšího zákazníka, který čeká ve frontě.

U serverů, které odbavují právě jednoho zákazníka, existují také varianty, kdy právě příchozí zákazník ihned po příchodu do fronty a zjištění, že musí na své odbavení určitou dobu počkat, odejde. V těchto případech se jedná o fronty bez vyrovnávací paměti. Naopak v případě, že se n -tý zákazník zařadí do fronty, hovoříme o frontách s vyrovnávací pamětí velikosti n .

3.1.2 Proces narození a smrti

Chování front v subsystémech lze popsat také pomocí procesu „narození – smrti“, viz Obrázek č. 5, jež popisuje příchody zákazníků a jejich odchody do/z front současně se zákazníky již zapojenými ve frontě v reálném čase. Příchodem zákazníka do fronty se počet požadavků ke zpracování zvyšuje o 1. S odchodem zákazníka se naopak počet k o 1 sníží. V souvislosti s procesem „narození – smrti“ je stanovena také rychlost příchodu ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$) a odchodu ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$) zákazníků. Rychlost příchodu / odchodu zákazníků je vyjádřena propustností systému ve vztahu k příchodu / odchodu zákazníků k poskytovateli služeb či zboží za jednotku času.



Obrázek č. 5: Proces „narození – smrti“

Pro matematické vyjádření procesu „narození – smrti“, respektive pro vyjádření rovnovážného stavu, je využíváno bilančních rovnic, které popisují ustálený stav subsystému (front) pomocí pravděpodobnosti ustáleného stavu subsystému n (P_n) a rychlosti příchodu / odchodu zákazníků do / z fronty. Podmínka u bilančních rovnic stanovuje, že počet ustálených stavů subsystémů n musí být větší než 1, tj. P_n ($n \geq 1$).

3.1.3 Servisní disciplíny

V jednotlivých subsystémech je využíváno několik zásad plánování, které bývají označovány za servisní disciplíny. Za nejčastěji používané lze označit zásady:

- a) první dovnitř, první ven
- b) poslední dovnitř, první ven
- c) sdílení kapacity subsystému
- d) přednost
- e) požadavek s nejnižší časovou náročností jako první

V praxi je také možné se setkat s termíny upravujícími chování zákazníků ve frontách, přičemž tyto přímo souvisí se zásadami plánování při správě front. Jedná se zejména o *balking* (označuje chování, kdy se zákazník po zjištění, že je fronta příliš dlouhá, rozhodne rovnou odejít), *jockeying* (popisuje jednání zákazníků, kteří střídají fronty dle svého subjektivního pohledu na rychlost postupu fronty) a *odmítnutí* (stanovuje stav, kdy zákazníci opouští frontu, protože dle svého názoru již čekají na odbavení příliš dlouhou dobu).

3.2 Littleův zákon

John Dutton Conant Little stanovil v roce 1954, bez důkazu, obecně platný matematický nástroj teorie front, tzv. Littleův zákon. Tento teorém popisuje vztah (5) mezi dlouhodobým průměrným počtem zákazníků (L), dlouhodobým průměrem efektivní míry propustnosti ve vztahu k rychlosti příchodů zákazníků do systému, tedy k poskytovateli služeb či zboží (λ) a průměrnou dobou, jež zákazník stráví v systému (W).

$$L = \lambda \cdot W \quad (5)$$

Littleův zákon byl v této podobě (5) poprvé publikován Philipem M. Morseem, který vyzval veřejnost, aby našla situaci, ve které nebude tento zákon platit. John Little, mimo jiné z tohoto důvodu, následně, v roce 1961, publikoval svůj důkaz zákona, který vyvrací tvrzení o existenci situace, kdy jeho zákon není platný. Littleův zákon byl postupně mnohokrát různě upraven či zjednodušen. Modifikaci tohoto teorému zveřejnil, mimo jiné, i zakladatel teorie front Agner Krarup Erlang. Ovšem obecně bývá Littleův zákon využíván především ve znění publikovaném Philipem M. Morseem (5).

Za výhodu Littleova zákona je považováno jeho široké využití, protože je platný v mnoha systémech. Zároveň je také možné jej spolehlivě aplikovat jak pro systém jako celek, tak pro jednotlivé subsystemy. Podmínka, omezující užití Littleova zákona, stanovuje, že systém musí být stabilní a nepreventivní, čímž jsou vyloučeny přechodové stavy, jako je například počáteční spuštění systému či jeho vypnutí. Stabilní systém se vyznačuje tím, že míra propustnosti systému ve vztahu k rychlosti příchodů zákazníků do systému je vždy větší, než míra propustnosti systému vztažená k výstupu neboli odchodu, zákazníků od poskytovatele služeb či zboží. V reálném prostředí tato podmínka ovšem nemusí být nutně splněna, protože, například obchody, mají vždy omezený prostor pro místa odbavení zákazníků a jejich čekání a proto nemůže míra příchodu a odchodu zákazníků růst donekonečna, jak uvažuje teoretický výpočet. Na základě této skutečnosti byl stanoven rozdíl mezi mírou příchodu zákazníků, vyjadřující rychlost s jakou zákazníci dorazí k poskytovateli služeb či zboží, a efektivní mírou příchodu zákazníků, která představuje rychlost, s níž zákazníci vstupují do systému. Má-li systém nekonečnou velikost, pak jsou si tyto míry rovny.

Distribuční forma Littleova zákona popisuje, s ohledem na pravidlo „kdo dřív přijde, ten je dříve na řadě“, vztah mezi rozšířeným ustáleným počtem zákazníků systému a dobou, jež zákazníci stráví v systému.

Seznam použité literatury

- [1] Agner Krarup Erlang. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 19. 5. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Agner_Krarup_Erlang
- [2] Cutting in line. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 10. 11. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cutting_in_line
- [3] Definice Poissonova procesu. *Matematická biologie* [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovy univerzity [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-modelovani-dynamicky-biologicky-dat--vybrane-kapitoly-z-matematickeho-modelovani--poissonuv-proces--definice-poissonova-procesu>
- [4] How ShortcutQ works. *ShortcutQ: Queue barrier shortcut gate* [online]. Londýn, 2013 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.vox.com/2016/5/27/11790252/airport-security-lines-tsa>
- [5] Line stander. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 11. 5. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Line_stander
- [6] Little's Law. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 24. 11. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Little%27s_law
- [7] NELSON, Libby. Why endless airport security lines are suddenly everywhere. *Vox - understand the News* [online]. 27. 5. 2016 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.vox.com/2016/5/27/11790252/airport-security-lines-tsa>
- [8] Queueing theory. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 2. 12. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Queueing_theory
- [9] Queue Area. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 19. 10. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Queue_area

- [10] Queue management system. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 20. 9. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Queue_management_system
- [11] Queuing Rule of Thumb. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 7. 10. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Queuing_Rule_of_Thumb
- [12] TEKNOMO, Kardi. Queuing Theory Tutorial. *Revoledu.com* [online]. 2019 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Queuing/>
- [13] Thomas Carlyle. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 22. 6. 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Carlyle

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Fyzická fronta „cik-cak“ s využitím fyzických bariér.....	4
Obrázek č. 2: Fyzická fronta „cik-cak“ s využitím přednostního obslužení	4
Obrázek č. 3: Fyzické bariéry s pevnými stojany a odnímatelnými středovými pásy.....	8
Obrázek č. 4: Fyzické bariéry s celokovovou konstrukcí.....	9
Obrázek č. 5: Proces „narození – smrti“	17