

Թառույան Լուսինե Սերոբի

Բիզնես պրոցեսների արտադրողականության
առաջնային բնութագրիչների գնահատման համակարգ

Ե.13.04 «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի
մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության

Մեղմագիր

Երևան – 2012

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И
АВТОМАТИЗАЦИИ НАН РА

Тарумян Лусине Сероповна

Система оценки ключевых характеристик
производительности бизнес процессов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.13.04 – “Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов, систем и сетей”

Ереван – 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆ.մ.գ.դ. Ս.Կ. Շուքուրյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆ.մ.գ.դ. Է.Մ.Պողոսյան
տ.գ.թ. Ս. Ն. Առաքելյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2012թ.-ի մայիսի 3-ին, ժամը 15:00-ին ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում գործող 037 «Ինֆորմատիկա և հաշվողական համակարգեր» մասնագիտական խորհրդի նիստում հետևյալ հասցեով՝ 0014, Երևան, Պ.Սևակի 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԻԱՊԻ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2012թ.-ի ապրիլի 3-ին:

037 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, Ֆ.մ.գ.դ.



Հ.Գ. Սարգսյանյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный руководитель:

д.ф.м.н. С.К. Шукурян

Официальные оппоненты:

д.ф.м.н. Э.М.Погосян
к.т.н. С.Г.Аракелян

Ведущая организация:

Российско-Армянский (Славянский) университет

Защита состоится 3-го мая 2012г. в 15:00 на заседании специализированного совета 037 "Информатика и вычислительные системы" Института проблем информатики и автоматизации НАН РА по адресу: 0014, Ереван, ул. П. Севака, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.

Автореферат разослан 3-го апреля 2012г.

Ученый секретарь специализированного
совета 037, д.ф.м.н.



А.Г. Саруханян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Թեմայի արդիականությունը

Բիզնես պրոցեսը իրենից ներկայացնում է իրար հետ որոշակիորեն կապակցված գործույթների կամ գործընթացների բազմություն, որը իրագործում է որևէ բիզնես խնդիր կամ նպատակ՝ կազմակերպության կառուցվածքում սահմանելով ֆունկցիոնալ դերեր և փոխհարաբերություններ¹:

Ներկայումս առաջատար կազմակերպությունները իրենց բիզնես պրոցեսները իրագործում են ղեկավարման ծրագրային համակարգերի միջոցով (BPMS/WfMS), որոնք թույլ են տալիս իրագործել պրոցեսների 4 հիմնական փուլերից բաղկացած կյանքի ցիկլը՝ *նախագծում, իրականացում, կատարում, մոնիտորինգ*:

Առաջին փուլում բիզնես վերլուծության մասնագետը նախագծում է բիզնես պրոցեսը՝ հետազոտելով և գնահատելով այլընտրանքային սցենարները:

Իրականացման փուլում ավտոմատացվում են պրոցեսի այն գործողությունները, որոնք մասնակի կամ ամբողջությամբ պետք է կատարվեն կիրառության կողմից:

Կատարման փուլում համակարգը ղեկավարում է բիզնես պրոցեսի աշխատանքը: Այն նաև հավաքագրում է արտադրողականության բնութագրիչները (KPI-key performance indicators), օրինակ՝ աշխատանքի ժամանակ (processing time), կատարման ժամանակ (processing time+waiting time), ծախսեր, եկամուտներ, շահույթ և այլն:

Մոնիտորինգի փուլում վերլուծության մասնագետը գնահատում է բնութագրիչները, հայտնաբերում պրոցեսի թերությունները և կատարում *վերանախագծում* (reengineering):

Ներկայումս կան բազմաթիվ, մոտ 200-ից ավել համակարգեր², որոնք այս կամ այն չափով ապահովում են վերոհիշյալ ֆունկցիոնալությունը: Դրանցից ամենաարդիականն ու խոշորներից է օրինակ IBM WebSphere software³ համակարգերի ընտանիքը: Կան նաև միջազգային կազմակերպություններ, որոնք մշակում են այդ համակարգերի համար ընդհանուր ստանդարտներ՝ WfMC¹:

Ներկայումս շուկայի զարգացման բարձր տեմպերը ստիպում են կազմակերպություններին լինել ճկուն՝ անընդհատ կատարելագործելով իրենց բիզնես պրոցեսները: Ուստի առաջնային է դառնում համակարգերի հատկապես վերլուծության գործիքների զարգացումը⁴:

Բիզնես պրոցեսների վերլուծության համար կիրառվում է 3 հիմնական մոտեցում⁵. *ձևական վերլուծություն, սիմուլյացիա և մոնիտորինգ*: Ձևական վերլուծության մեթոդների առավելությունն^{2,5} այն է, որ նրանք թույլ են տալիս պրոցեսի թերությունները հայտնաբերել և շտկել նախագծման փուլում: Մոնիտորինգի փուլում հայտնաբերված սխալները բերում են լրացուցիչ ծախսերի և ժամանակի կորստի: Չնայած, որ սիմուլյացիան նույնպես կիրառվում է նախագծման փուլում, սակայն այն կարող է բերել դեպքերի հատարվման^{2,5}: Ուստի ներկայումս մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ձևական վերլուծության մեթոդներով կառուցված արդյունավետ վերլուծության ալգորիթմները, սակայն այդ ոլորտի զարգացման առջև կանգնած են մի շարք խնդիրներ, որոնց պատճառով գոյություն ունեցող համակարգերը առավելապես պարունակում են միայն սիմուլյացիայի և մոնիտորինգի գործիքներ:

Ձևական վերլուծություն կատարելու համար առաջին հերթին պետք ընտրել բիզնես պրոցեսների ներկայացման *ձևական մոդել*: Վերջին տարիներին կատարվել են բազմաթիվ հետազոտական աշխատանքներ տարբեր ձևական մոդելների վրա, սակայն, որպես կանոն այդ մոդելները նախագծված են կոնկրետ խնդիրների լուծման համար և հաճախ որոշ

¹Workflow Management Coalition, <http://www.wfmc.org>.

²Aalst W., Hee K., “Workflow Management, Models, Methods and Systems”, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, 2002.

³IBM, WebSphere software, <http://www-306.ibm.com/software/websphere>.

⁴Fischer L. “2010 BPM and Workflow Handbook, Spotlight on Business Intelligence” Future Strategies Inc, ISBN-10: 0981987052 ISBN-13: 9780981987057, 2010.

⁵Jonkers H., Franken H., “Quantitative Modelling and Analysis of Business Processes”. In Simulation in Industry: Proceedings of the 8th European Simulation Symposium, vol. I, pp. 175-179, Genoa 1996.

մասերով չեն համապատասխանում ստանդարտներին: Ուստի անհրաժեշտություն կա մշակել այնպիսի ձևական մոդել, որը մի կողմից կպարունակի ձևական վերլուծության համար անհրաժեշտ կառուցվածքներ, իսկ մյուս կողմից կհամապատասխանի ստանդարտներին, որը թույլ կտա մշակված լուծումները հեշտությամբ ինտեգրել արդի համակարգերում:

Մշակված մոդելը պետք է թույլ տա նաև կատարել ցիկլիկ բիզնես պրոցեսների արդյունավետ վերլուծություն, քանի որ այդ պրոցեսները լայն կիրառություն ունեն: Սակայն, ինչպես հայտնի է, *ոչ կառուցվածքային ցիկլերի* առկայությունը բերում է պրոցեսի ձևական նկարագրման, սեմանտիկայի մի շարք բարդությունների⁶ և էապես խոչընդոտում է վերլուծության արդյունավետ ալգորիթմների մշակմանը: Այդ պատճառով, մինչ այժմ, շատ հետազոտական աշխատանքներ կատարված են միայն ցցիկլիկ կամ միայն խիստ որոշակի կառուցվածք ունեցող ցիկլերով պրոցեսների համար: Կան նաև աշխատանքներ⁷, որտեղ առաջարկվում է ձևափոխել բիզնես պրոցեսները՝ ցիկլերը դարձնելով կառուցվածքային: Սակայն առաջարկված մեթոդը կիրառելի է միայն գուգահեռ ճյուղեր չպարունակող ցիկլերի համար, իսկ գուգահեռությունը լայնորեն կիրառվում է բիզնես պրոցեսներում:

Չուգահեռ ճյուղերի անուղղակի փոխազդեցությունները և բիզնես պրոցեսների այլ կառուցվածքային առանձնահատկությունները (օր. սինխրոնիզացման կետեր) մույնպես լրացուցիչ խնդիրներ են ստեղծում բնութագրիչների վերլուծության համար:

Նույնիսկ վերոհիշյալ կառուցվածքները չպարունակող բիզնես պրոցեսների համար բնութագրիչների վերլուծության խնդիրը ամբողջապես լուծված չէ: Մինչ այժմ հրապարակված աշխատությունների գերակշիռ մասում խնդիրը լուծված է միայն այն պրոցեսների համար, որոնց ղեկավարման անցումների *հավանականությունները* հայտնի են, իսկ աշխատությունների մնացած մասում խնդիրը լուծված է միայն ցցիկլիկ պրոցեսների համար: Նշված հավանականությունները ճշգրտվում են միայն բիզնես պրոցեսների կատարման փուլից հետո, ուստի առաջարկված մեթոդները նախագծման փուլում կիրառելի չեն:

Աշխատանքի նպատակը

- Բիզնես պրոցեսների համար մշակել ստանդարտներին համապատասխանող ձևական մոդել, որը կպարունակի վերլուծության մաթեմատիկական հիմնավորման համար անհրաժեշտ կառուցվածքներ:
- Մշակել ցիկլիկ բիզնես պրոցեսների արդյունավետ վերլուծության ընդհանուր մեթոդ, որը կիրառելի կլինի և՛ գուգահեռ ճյուղեր, և՛ ոչ կառուցվածքային ցիկլեր պարունակող պրոցեսների համար:
- Առաջարկել բիզնես պրոցեսների արտադրողականության բնութագրիչների վերլուծության ալգորիթմներ, որոնք կիրառելի կլինեն նախագծման փուլում՝ երբ ղեկավարման հավանականությունները հայտնի չեն:
- Մշակել վերլուծության ծրագրային համակարգ՝ իրականացնելով առաջարկված ալգորիթմները: Փորձարկումների միջոցով հիմնավորել առաջարկված լուծումների կիրառման արդյունավետությունը:

Հետազոտման օբյեկտները

Հետազոտության օբյեկտներ են հանդիսանում բիզնես պրոցեսների ձևական ներկայացումը և նրա տարրերը՝ գործույթներ, կատարողներ, ցիկլեր, բնութագրիչներ և այն:

Հետազոտման մեթոդները

Աշխատանքում օգտագործված են գործույթների հետազոտման, բազմությունների, գրաֆների տեսությունների, ալգորիթմների կառուցման և վերլուծության մեթոդները:

⁶ Aalst W., Desel J., Kindler E., “On the semantics of EPCs: A vicious circle”. In Proceedings of the Workshop on EPK. Pp. 71-79, Trier 2003.

⁷ Koehler J., Hauser R., “Untangling Unstructured Cyclic Flows - A Solution based on Continuations”, 6th Int. Conference on Cooperative Information Systems CoopIs, Springer LNCS 3290, pp. 121-138, 2004.

Արդյունքների գիտական նորությունը

- Ընդլայնվել է IBM's MQSeries Workflow⁸ բիզնես պրոցեսների ձևական մոդելը՝ վերլուծության համար անհրաժեշտ կառուցվածքներով, և համապատասխանեցվել ստանդարտներին:
- Մշակվել է ոչ կառուցվածքային ցիկլերով բիզնես պրոցեսների համարժեք ձևափոխության մեթոդ՝ LOOP ցիկլերով պրոցեսների, որը կիրառելի է BIT⁹ գրադարանի բոլոր պրոցեսների համար:
- Մշակվել է LOOP ցիկլերով պրոցեսների բնութագրիչների վերլուծության ընդհանուր մեթոդ, որը կիրառելի է ոչ միայն հայտնի, այլև անհայտ ղեկավարման հավանականություններով պրոցեսներին: Մեթոդը թույլ է տալիս ացիլիկ պրոցեսների համար մշակված վերլուծության ալգորիթմները ընդլայնել ցիկլիկ պրոցեսների համար՝ պահպանելով ալգորիթմների բարդությունը:
- Մշակվել են բիզնես պրոցեսների ստատիկ և դինամիկ (կատարումից կախված) ժամանակային կրիտիկական ճանապարհների որոշման ալգորիթմներ՝ հիմնված գուգահեռ ճյուղերի փոխադրեցությունների վերլուծության վրա: Սահմանվել է միարժեք փոխադրեցություններով պրոցեսների դասը, որի վրա ալգորիթմները տալիս են խնդրի ամբողջական լուծում:
- Տրվել են բիզնես պրոցեսների առաջնային ֆինանսական բնութագրիչների ձևական սահմանումներ և մշակվել են դրանց որոշման ալգորիթմներ:

Ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը

Ստացված արդյունքների, մշակված ալգորիթմների հիման վրա կառուցվել է բիզնես պրոցեսների վերլուծության ծրագրային համակարգ:

Քանի որ համակարգը ապահովում է WfMC ստանդարտներին համապատասխան ֆորմատների մշակում, ուստի համակարգի միջոցով հնարավոր է վերլուծել ստանդարտներին բավարարող կամայական այլ համակարգում նախագծված պրոցեսները:

Մշակված համակարգը փորձարկվել է IBM-ի կողմից մշակված BIT⁹ պրոցեսների գրադարանի վրա: Գրադարանը բաղկացած է 5 ենթագրադարաններից և պարունակում է 735 բիզնես պրոցեսներ՝ բանկային, սպահովագրության, հաճախորդների սպասարկման, ապրանքների մատակարարման, շինարարության և այլ ոլորտներից: Արդյունքները համեմատվել են արդի ամենազարգացած համակարգերից մեկի՝ վերոհիշյալ IBM WebSphere software ընտանիքի Business Modeler համակարգի փորձարկման արդյունքների հետ: Համեմատությունը ցույց է տրվել աշխատանքում մշակված մեթոդների և ալգորիթմների արդյունավետությունն ու առավելությունները:

Ներդրումներ

Աշխատանքի արդյունքների գործնական օգտագործումը և նրանց արժեքը արտացոլված են

1. «Հայկական ծրագրեր» ընկերությունում ներդրման համապատասխան արձանագրությունում:
2. «Կոնվերս բանկ» ընկերությունում ներդրման համապատասխան արձանագրությունում:

Պաշտպանությանը ներկայացվում են հետևյալ դրույթները

- Բիզնես պրոցեսների IBM's MQSeries Workflow⁸ ձևական մոդելի ընդլայնումը:
- Ոչ կառուցվածքային ցիկլերով բիզնես պրոցեսների համարժեք ձևափոխության մեթոդը՝ LOOP ցիկլերով պրոցեսներին:

⁸Leymann F., Roller D., "Production Workflow: concepts and techniques". Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2000.

⁹Fahland D., Favre C., Jobstmann B., Koehler J., Lohmann N., Völzer H., Wolf K., "Instantaneous Soundness Checking of Industrial Business Process Models", 7th Int. Conference on Business Process Management, Springer LNCS 5701, pp. 278-293, 2009.

- Ացիլիլի բիզնես պրոցեսների համար մշակված վերլուծության ալգորիթմների ընդլայնման մեթոդը՝ ցիկլիկ պրոցեսների համար, որը կիրառելի է ոչ միայն հայտնի, այլև անհայտ ղեկավարման հավանականություններով պրոցեսներին:
- Բիզնես պրոցեսների ստատիկ և դինամիկ (կատարումից կախված) ժամանակային կրիտիկական ճանապարհների որոշման մեթոդները՝ հիմնված զուգահեռ ճյուղերի փոխազդեցության վերլուծության վրա:
- Բիզնես պրոցեսների առաջնային ֆինանսական բնութագրիչների որոշման ալգորիթմները:
- Առաջարկված մեթոդների հիման վրա կառուցված բիզնես պրոցեսների վերլուծության ծրագրային համակարգը:

Ապրոքացիա և հրապարակումներ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն ու դրույթները քննարկվել և գեկուցվել են ԵՊՀ «Ալգորիթմական լեզուների ամբիոնի» սեմինարների ընթացքում (2003-2007 թթ.), ԵՊՀ «SS կրթական և հետազոտական կենտրոնի» սեմինարների ընթացքում (2007-2010թթ.), Առաջատար սիմուլյացիոն տեխնոլոգիաների միջազգային կոնֆերանսին ASTC՝2003 (Օռլանդո, ԱՄՆ), Հաշվողական գիտությունների և ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաների կոնֆերանսներին CSIT2005, CSIT2011 (Երևան, Հայաստան), I3M՝2005 Միջազգային մոլտիկոնֆերանսի շրջանակներում կայացած Եվրոպական 17-րդ սիմուլյացիոն սիմպոզիումին ESS՝2005 (Մարսել, Ֆրանսիա):

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները հրապարակված են 5 հոդվածներում, որոնց ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Աշխատանքի կառուցվածքն ու ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է առաջաբանից, չորս գլուխներից, օգտագործված գրականության ցանկից: Աշխատանքի ծավալը 144 էջ է, օգտագործված գրականության ցանկն ընդգրկում է 86 անուն:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Առաջաբանում հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված է աշխատանքի նպատակը: Ներկայացված է հետազոտությունների գիտական նորույթը և ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը:

Առաջին գլխում նկարագրված են բիզնես պրոցեսների մոդելավորման, ղեկավարման և վերլուծության ընդհանուր սկզբունքները: Նկարագրված են պրոցեսների վերլուծության մեթոդները և խնդիրները: Վերլուծված են այդ ասպարեզում կատարված հետազոտական աշխատանքները և արդի ամենազարգացած համակարգերի ֆունկցիոնալ հնարավորությունները: Չևակերպված է աշխատանքի ընդհանուր խնդրի դրվածքը:

§1.1–ում մեջբերված են բիզնես պրոցեսների և նրանց ղեկավարման համակարգերի միջազգային ստանդարտներով ընդունված սահմանումները, նկարագրված են այդ համակարգերի աշխատանքի հիմնական սկզբունքները, նպատակները և նշանակությունը: Նկարագրված է բիզնես պրոցեսների կենսացիկլը, որը բաղկացած է 4 հիմնական փուլերից՝ մոդելավորում և *նախազգծում*, *իրականացում*, *կատարում*, *մոնիտորինգ*:

§1.2–ում նկարագրված են բիզնես պրոցեսների վերլուծության 3 հիմնական մեթոդները *ձևական վերլուծություն*, *սիմուլյացիա* և *մոնիտորինգ*: Տրված է այդ մեթոդների համեմատական վերլուծությունը և հիմնավորված է առաջին մեթոդի զարգացման անհրաժեշտությունը:

Վերլուծված են վերջին տարիներին ձևական վերլուծության կիրառմամբ կատարված հետազոտությունները և արդի ամենազարգացած համակարգերի ֆունկցիոնալությունը:

§1.3–ում ներկայացված է ժամանակային վերլուծության խնդիրը: Վերլուծված են այդ ասպարեզում կատարված հետազոտական աշխատանքները և առկա խնդիրները:

§1.4–ում ձևակերպված են արտադրողականության բնութագրիչների վերլուծության ոլորտում առկա խնդիրները և աշխատանքի ընդհանուր խնդրի դրվածքը.

1. Անհրաժեշտ է մշակել բիզնես պրոցեսների ձևական մոդել, որը կհամապատասխանի ստանդարտներին կայարմունակի վերլուծության արդյունավետ ալգորիթմների մշակման համար անհրաժեշտ կառուցվածքներ (հատկապես ցիկլիկ պրոցեսների համար):
2. Անհրաժեշտ է մշակել բիզնես պրոցեսների արտադրողականության չափանիշների վերլուծության ընդհանուր մեթոդ և կիրառել այն առաջնային բնութագրիչների համար.
 - ժամանակային վերլուծություն՝ դիտարկելով կատարողների կապերը, բիզնես պրոցեսների կառուցվածքային միավորները և վերջնաժամկետի գաղափարը,
 - եկամուտների, ծախսերի և շահույթի վերլուծություն՝ դիտարկելով բիզնես պրոցեսների կառուցվածքային միավորները:

Առաջարկվող բոլոր ալգորիթմներին կոռեկտությունը անհրաժեշտ է տեսականորեն հիմնավորել և գնահատել նրանց բարդությունները:

3. Անհրաժեշտ է մշակել ծրագրային համակարգ, որում կիրականացվեն առաջարկված ալգորիթմները:
 - համակարգը պետք է հնարավորություն տա վերլուծել ստանդարտներին համապատասխանող կամայական այլ համակարգում նախագծված բիզնես պրոցեսները,
 - այն պետք է փորձարկվի բիզնես պրոցեսների հայտնի գրադարանների վրա,
 - փորձնական արդյունքները պետք է համեմատվեն այլ համամասն համակարգերի արդյունքների հետ, որով փորձնականորեն կհիմնավորվի առաջարկված մեթոդների արդյունավետությունը:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է բիզնես պրոցեսների նկարագրման նոր ընդլայնված Workflow մոդելը, տրված է նրա մաթեմատիկական նկարագրությունը, ինտերպրետացիայի ալգորիթմը: Ներկայացված է նաև ցիկլիկ պրոցեսների մոդելավորման մեթոդը, ոչ կառուցվածքային ցիկլերի ձևափոխման ալգորիթմը և ապացուցված է նրա կոռեկտությունը:

§2.1 –ում հիմնավորված է IBM-ի կողմից մշակված MQSeries Workflow մոդելի ընդլայնման անհրաժեշտությունը: Հենքային մոդելի ձևական նկարագրությունը ավելի պարզ դարձնելու նպատակով հեղինակները չեն ներառել որոշ կառուցվածքներ, սակայն, քանի որ դրանք վերլուծության տեսանկյունից էական նշանակություն ունեն և համապատասխանում են ստանդարտներին, ուստի սույն աշխատանքում կատարվել է հենքային մոդելի ընդլայնում:

Մոդելի հիմնական կառուցվածքային միավորներն են՝ գործույթները (Activities), դեկավարման անցումները (control connectors), տվյալների փոխանցման կապերը (data connectors), գործույթների կատարողները: Կամայական դեկավարման անցման կցված է պրեդիկատ, որը դեկավարման փոխանցման պայմանն է:

Ընդլայնված մոդելում, Workflow ստանդարտին համապատասխան, կատարվել են հետևյալ փոփոխությունները.

- Ներմուծված է AND և XOR ճյուղավորման և միակցման գործույթների տարբերակումը: AND գործույթները օգտագործվում են պրոցեսի գուգահեռ ճյուղերի նկարագրման և սինխրոնիզացիայի համար, իսկ XOR գործույթները՝ այլընտրանքային ճյուղերի համար:
- Ներմուծված են պրոցեսի, գործույթի կատարման տևողության գաղափարները: Հենքային մոդելում ժամանակի ընթացիկ փոփոխականը՝ t-ն իր արժեքը փոխում էր $t:=t+1$ միայն այն պահերին, երբ պրոցեսի կատարման ժամանակ տեղի է ունենում որոշակի պատահար, իսկ ընդլայնված մոդելում այն իր արժեքը փոխում է համաշափ:
- Պրոցեսի ինտերպրետացիայի ալգորիթմը գուգահեռացվել է: Հենքային մոդելում մույնիսկ գուգահեռ գործույթները ակտիվանում էին հաջորդաբար, տարբեր ժամանակային պահերի, որը չէր համապատասխանում ստանդարտին:
- Դիտարկված է կատարողների զբաղվածության հարցը (երբ աշխատանքները դրվում են հերթի), որը հաշվի է առնվել ինտերպրետացիայի ալգորիթմում:
- Ցիկլերի մոդելավորման համար ներմուծված է Loop Activity կառուցվածքը: Հենքային մոդելում դիտարկվում էին միայն ացիկլիկ պրոցեսները:
- Կատարված է պրոցեսի ինտերպրետացիայի ալգորիթմի ձևայնացում՝ ներառելով վերը նշված փոփոխությունները և ընդլայնումները:

§2.2–ում ներկայացված է ընդլայնված Workflow մոդելի ձևական նկարագրությունը:

Պրոցեսների բազմությունը նշ. W : Դիցուք N , E -ն գործույթների և ղեկավարման անցումների վերջավոր բազմություններ են: Դիցուք C -ն ղեկավարման անցումներին կցված պրեդիկատների բազմությունն է, V -ն տվյալների էլեմենտների բազմությունը, իսկ $DOM(v)$ -ն $v \in V$ էլեմենտի արժեքների բազմությունը: \cup : $H := N \cup W$:

i արտապատկերումը կամայական գործույթի, պրոցեսի և պրեդիկատի համապատասխանեցնում է մուտքային կոնտեյները` $i: H \cup C \rightarrow \wp(V)$, $\forall X \in H \cup C: i(X) \subseteq V, ca \#(i(X)) < \infty$:

o արտապատկերումը կամայական գործույթի, պրոցեսի համապատասխանեցնում է ելքային կոնտեյները` $o: H \rightarrow \wp(V)$, $\forall X \in H: o(X) \subseteq V, ca \#(o(X)) < \infty$:

Կամայական գործույթ հանդիսանում է օպերատոր` $A: i(A) \rightarrow o(A)$:

Y -ով նշ. բոլոր գործույթների բոլոր իրականացումների բազմությունը: $\Psi: N \rightarrow Y$ արտապատկերումը կամայական գործույթի համապատասխանեցնում է որոշակի իրականացում`

$$\Psi(A): \prod_{v \in i(A)} DOM(v) \rightarrow \prod_{v \in o(A)} DOM(v)$$

$\Omega: N \rightarrow P$ արտապատկերումը կանվանենք գործույթների կատարողների նշանակում, որտեղ $P = \{q \mid q: T \rightarrow \wp(AG)\}$: Այսինքն \forall գործույթի կցվում է q ֆունկցիա, որը ժամանակի տվյալ պահին որոշում է գործույթը կատարող ազենտների բազմությունը:

$E \subseteq N \times N \times C$ բազմությունը կոչվում է $P \in W$ պրոցեսի ղեկավարման անցումների բազմություն: $\langle A, B, p \rangle \in E$, ղեկավարման անցման համար $p \in C$ պրեդիկատը կոչվում է անցման պայման` $p: \times DOM(v) \rightarrow \{true, false\}, v \in i(p)$:

A գործույթի բոլոր մուտքային, ելքային ղեկավարման անցումների բազմությունները նշ. $A_E^* := \{e \in E \mid \pi_2(e) = A\}$, $A_E^* := \{e \in E \mid \pi_1(e) = A\}$, որտեղ $\pi_i(e)$ -ն e կորտեժի i -րդ կոմպոնենտն է:

A գործույթի բոլոր մուտքային, ելքային ղեկավարման անցումների պրեդիկատների բազմությունները նշ. $C^+(A) := \pi_3(\{e \in E \mid \pi_2(e) = A\})$, $C^-(A) := \pi_3(\{e \in E \mid \pi_1(e) = A\})$:

A գործույթը կոչվում է ցուրտավորման, եթե այն ունի մեկից ավելի ելքային ղեկավարման անցում: Դնուդավորման գործույթները լինում են AND և XOR տիպի` $N^* = N_{\&}^* \cup N_{\times}^*$:

A գործույթը կոչվում է միակցման, եթե այն ունի մեկից ավելի մուտքային ղեկավարման անցում: Միակցման գործույթները լինում են AND և XOR տիպի` $N_* = N_{\&} \cup N_{\times}$:

$N_{\cdot} := N \setminus N$. բազմությունը սահմանվում է որպես ընդույլացր գործույթների բազմություն:

Դիցուք $\phi_A^{\&}, \phi_A^{\times}$ -ն հետևյալ բուլյան ֆունկցիաների բազմություններն են.

$$\phi_A^{\&} := \{ \&_{i \leq i'} p_i \mid p_i \in \{C^+(A)\} \}, \phi_A^{\times} := \{ \vee_{i \leq i'} p_i \mid p_i \in \{C^+(A)\} \}$$

Դիցուք $\Phi_A = \phi_A^{\&} \cup \phi_A^{\times}$: Այդ դեպքում $\Phi: N \rightarrow \bigcup_{A \in V} \Phi_A$ արտապատկերումը որոշում է գործույթների միակցման պայմանները, եթե տեղի ունի հետևյալը.

$$\forall A \in N, \Phi(A) \in \phi_A, \forall A \in N_*, \Phi(A) = 1$$

$$\forall A \in N_{\&}, \Phi(A) \in \phi_A^{\&}, \forall A \in N_{\times}, \Phi(A) \in \phi_A^{\times}$$

Հետևաբար $\Phi(A)$ -ն հետևյալ տիպի պրեդիկատ է $\Phi(A): \prod_{p \in C^+(A), v \in i(p)} \times \times DOM(v) \rightarrow \{true, false\}$:

LOOP տիպի գործույթների բազմությունը նշ. N_{Loop} , իսկ ϕ_A^C -ով ցիկլի պայմանը $A \in N_{Loop}$:

Դիցուք $A \in N, B \in N \cup C$: Հետևյալ արտապատկերումը կոչվում է տվյալների հոսքի արտապատկերում $\Delta: N \times (N \cup C) \rightarrow \bigcup_{A \in N, B \in N \cup C} \wp(o(A) \times i(B))$, այն և միայն այն դեպքում, երբ

1. $\Delta(A, B) \in \wp(o(A) \times i(B))$

- $\Delta(A, B) \neq \emptyset \Rightarrow B$ գործույթը հասանելի է A -ից
- $\forall B \in N : (x, z), (y, z) \in \bigcup_{A \in N} \Delta(A, B) \Rightarrow x = y$

Պրոցեսի տվյալների անցումների բազմությունը սահմանվում է հետևյալ կերպ.
 $\Sigma := \{(A, B, \Delta(A, B)) \in N \times N \times \wp(V \times V) \mid \Delta(A, B) \neq \emptyset\}$

W -Պրոցեսի սահմանում: $G = \langle V, i, o, N, \psi, C, \Omega, E, \Phi, \Delta \rangle$ կորստեժը կոչվում է W -Պրոցես, այն բաղկացած է երկու գրաֆից.

- Ղեկավարման հոսքի գրաֆ $G_{control} = \langle N, E, V, i, o, C, \Phi \rangle$ (կրճատ՝ $G_{control} = \langle N, E \rangle$),
- Տվյալների հոսքի գրաֆ $G_{data} = \langle N, \Sigma, V, \Delta \rangle$ (կրճատ՝ $G_{data} = \langle N, \Sigma \rangle$):

§2.3–ում ներկայացված է W -պրոցեսի ինտերպրետացիայի այգորիթմը:

Պրոցեսի ժամանակը դիտարկվում է որպես դիսկրետ պահերի հաջորդականություն: Կհամարենք, որ պրոցեսի աշխատանքը սկսվում է $t := 0$ պահից:

Կամայական X -ի $X \in N \cup W \cup C$ համար $'i(X)$ -ով և $'o(X)$ -ով նշանակենք մուտքային և ելքային կոնտեյնիերների արժեքները ինտերպրետացիայի t պահին:

Պրոցեսի կատարման ժամանակ գործույթների վիճակները արտահայտվում են հետևյալ արտապատկերմամբ $w : T \times N \rightarrow S_A$, որտեղ $S_A = \{\langle \text{Սկզբնական} \rangle, \langle \text{Կատարման ենթակա} \rangle, \langle \text{Ակտիվացված} \rangle, \langle \text{Ավարտված} \rangle, \langle \text{Պասիվացված} \rangle\}$:

Պրոցեսի կատարման ժամանակ պրեդիկատների վիճակները արտահայտվում են հետևյալ արտապատկերմամբ $\xi : T \times C \rightarrow S$, որտեղ $S_p = \{\langle \text{Հաշվարկված} \rangle, \langle \text{Չհաշվարկված} \rangle\}$:

Երբ գործույթը դառնում է «Ավարտված», ապա նրա բոլոր ելքային անցումների պրեդիկատները դառնում են «Հաշվարկված»: AND միակցման պայմանը «Հաշվարկված» է, եթե հաշվարկված են բոլոր մուտքային պրեդիկատները, իսկ XOR միակցման պայմանը «Հաշվարկված» է, երբ որևէ մուտքային պայման հաշվարկված է և արժեքը True:

Մուտքային ղեկավարման անցումներ չունեցող գործույթը կոչվում է սկզբնա-կյան $N' = \{A : A_E^+ = \emptyset\}$: Ոչ սկզբնական գործույթը $A \in N \setminus N'$ դառնում է «Կատարման ենթակա»՝ $w(t, A) = \langle \text{Կատարման ենթակա} \rangle$ $t > 0$ պահին այն և միայն այն դեպքում, երբ

- $\exists (X, A, p) \in E : \xi(t, p) = \langle \text{Հաշվարկված} \rangle$ և $\xi(t-1, p) = \langle \text{Չհաշվարկված} \rangle$,
- $A \in N_*$ & $p('i(p)) = 1$ կամ $A \in N_*$ & $\Phi(A)('i(p_1), \dots, 'i(p_{n_A})) = 1$ և $\xi(t, \Phi(A)) = \langle \text{Հաշվարկված} \rangle$:

Պասիվ գործույթները, դրանք այն գործույթներն են, որոնք պրոցեսի կոնկրետ կատարման ժամանակ տվյալ պահից սկսած այլևս ենթակա չեն հետագա կատարման:

Գործույթը դառնում է ավարտված $w(t, A) = \langle \text{Ավարտված} \rangle \Leftrightarrow$

- $\exists j \in T : j < t$ & $w(j, A) = \langle \text{Ակտիվացված} \rangle$,
- $\exists k \in T : j < k \leq i$ և $\Psi(A)$ ավարտվել է (*returned*, այսինքն ֆունկցիան վերադարձրել է արժեք):

Սահմաններ հետևյալ արտապատկերումները.

$\lambda : T \rightarrow \wp(N) : A \in \lambda(t) \Leftrightarrow w(t, A) = \langle \text{Ավարտված} \rangle$:

$\delta : T \rightarrow \wp(N) : A \in \delta(t) \Leftrightarrow w(t, A) = \langle \text{Պասիվացված} \rangle$:

$\eta : T \rightarrow \wp(N) : A \in \eta\eta(t) \Leftrightarrow w(t, A) = \langle \text{Կատարման ենթակա} \rangle$, և $A \in \eta_i \Rightarrow \forall j \neq t, A \notin \eta_j$:

$\eta\eta : T \rightarrow \wp(N) : A \in \eta\eta(t) \Leftrightarrow w(t, A) = \langle \text{Կատարման ենթակա} \rangle$:

$Ac : T \rightarrow \wp(N) : A \in Ac(t) \Leftrightarrow w(t, A) = \langle \text{Ակտիվացված} \rangle$:

Դիցուք $A \in \lambda_t \setminus \lambda_{t-1}$, սահմաններ.

- $M(A) := \cup \delta D^+(X)$, $X \in A^+ \cap \delta_i$: $M(A)$ -ն A -ին հաջորդող «Պասիվացված» գործույթներին հաջորդող գործույթների բազմությունն է:

2. $M_1(A) := \{X \in M(A) \mid \Phi(X)(\{i(p) \mid p \in C^{\leftarrow}(X)\}) = 1\}$: $M_1(A)$ -ն $M(A)$ -ի այն գործույթների բազմությունն է, որոնց միակցման պայմանը ճիշտ (*true*) է:
3. $M_2(A) := \{X \in A_*^{\rightarrow} \mid (A, X, p) \in E \ \& \ p(i(p)) = 1\}$: $M_2(A)$ -ն A -ին հաջորդող բոլոր ռեգուլյար գործույթների բազմությունն է, որոնց մուտքային պայմանը ճիշտ (*true*) է:
4. $M_3(A) := \{X \in A_*^{\rightarrow} \mid \Phi(X)(\{i(p) \mid p \in C^{\leftarrow}(X)\}) = 1\}$: $M_3(A)$ -ն A -ին հաջորդող բոլոր միակցման գործույթների բազմությունն է, որոնց միակցման պայմանը ճիշտ (*true*) է:

A գործույթի ակտուալ հաջորդողների բազմությունը սահմանվում է հետևյալ կերպ.

$\Sigma_i(A) = (M_1(A) \cup M_2(A) \cup M_3(A)) \setminus \lambda_i$, $A \in \lambda_i \setminus \lambda_{i-1}$ համար, իսկ $\Sigma_i(A) = \emptyset$, հակառակ դեպքում:

Եթե A -ն դառնում է «Ավարտված» գործույթ t պահին, ապա նրա ակտուալ հաջորդողների բազմությունը դառնում է «Կատարման ենթակա»:

Interpretation (W)

$t := 0$; $\eta_0 := N'$; $\eta\eta_0 := N'$; $\lambda_0 := \emptyset$; $\delta_0 := \emptyset$; $Ac_0 := \emptyset$;

($t=0$ պահին «Կատարման ենթակա» գործույթների բազմությունը համընկնում է սկզբնական գործույթների բազմությանը)

While (true)

{ $t := t + 1$;

$\lambda_i := \lambda_{i-1} \cup \{A \mid A \in Ac_{i-1} \ \& \ (\Psi(A) \text{ is returned at time } t)\}$;

(t պահին «Ավարտված» են այն գործ., որոնց $\Psi(A)$ իրականացումը ավարտված է)

$\delta_i := \delta_{i-1} \cup \{A \mid w_{i-1}(A) \neq \text{«Պասիվացված»} \ \& \ w_i(A) = \text{«Պասիվացված»}\}$;

$\eta_i := \bigcup_{A \in \lambda_i \setminus \lambda_{i-1}} \Sigma_i(A)$;

(t պահին «Կատարման ենթակա» դարձած գործույթների բազմությունը որոշվում է «Ավարտված» գործույթների ակտուալ հաջորդողների բազմությամբ՝ $\Sigma_i(A)$)

$\eta\eta_i := \eta\eta_{i-1} \cup \eta_i \setminus \lambda_i$;

(t պահին «Կատարման ենթակա» գործույթների բազմությունը)

$Ac_i := Ac_{i-1} \cup \{A \mid A \in \eta\eta_i \ \& \ \alpha_i(A) \neq \perp\} \setminus \lambda_i$;

(«Կատարման ենթակա» գործույթները դառնում են «Ակտիվացված» միայն այն դեպքում, երբ ազենտը որոշված է)

Forall $A \in Ac_i \setminus Ac_{i-1}$

{ *if* $A \in N_{Loop}$ *then*

Asynch Call Loop Interpretation(A) }

if $\eta\eta_i = \emptyset \ \& \ Ac_i = \emptyset$ *then exit*;

(Եթե «Կատարման ենթակա» կամ «Ակտիվացված» գործույթներ այլևս չկան, ապա ավարտել)

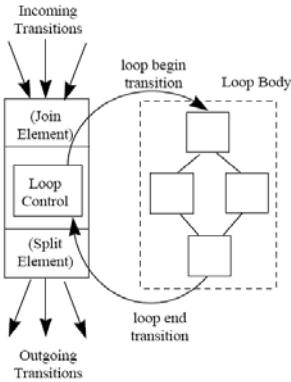
}

Loop Interpretation(A)

{ **While** (φ_c) { **Call Interpretation**(A_{Body}) }

§2.4-ում ներկայացված է *ցիկլիկ բիզնես պրոցեսների մոդելավորման և վերլուծության առկա խնդիրները և առաջարկվող նոր լուծման մեթոդը*:

Բիզնես պրոցեսների մոդելներում ոչ կառուցվածքային ցիկլերի առկայությունը հանգեցնում է ձևական նկարագրման և վերլուծության մի շարք բարդությունների⁶: Այդ պատճառով որոշ հետազոտական աշխատանքներ կատարված են միայն ացիկլիկ կամ միայն խիստ որոշակի կառուցվածքի ցիկլերով պրոցեսների համար: Իսկ որոշ հեղինակներ⁷ առաջարկում են ձևափոխել բիզնես պրոցեսները՝ ցիկլերը դարձնելով կառուցվածքային, բայց առաջարկված մեթոդը կիրառելի է միայն զուգահեռ ճյուղեր չպարունակող ցիկլերի համար:



նկ.1 Loop Activity

Այդ պատճառով, աշխատանքում առաջարկվում է նոր մոտեցում: Ընդլայնված մոդելում մտցվել է Loop Activity (նկ.1) հատուկ տիպի գործույթը՝ համաձայն ստանդարտների: Յիկլի մարմինը(Body) իրենից ներկայացնում է պրոցեսի ենթակառուցվածք(Sub-Flow), որի գործույթները իրենց հերթին կարող են լինել Loop տիպի: Այդպես կարելի է մոդելավորել ներդրված ցիկլերը: Յիկլի ղեկավարումը կարող է լինել FOR, WHILE, REPEAT_UNTIL տիպի:

Եթե պրոցեսի ցիկլերը մոդելավորված են միայն Loop գործույթների միջոցով, ապա նրա ղեկավարման գրաֆը կարելի է դիտարկել որպես ացիկլիկ, որը ունի Loop տիպի գագաթներ: Loop-ի մարմինը ևս կարելի է դիտարկել որպես ացիկլիկ, որը նույնպես կարող է ունենալ Loop-եր և այլն:

Նման մոտեցումը հնարավորություն է տալիս ացիկլիկ պրոցեսների համար մշակված ալգորիթմները ռեկուրսիվ ձևով ընդլայնել նաև ցիկլիկ պրոցեսների համար՝ պահպանելով ալգորիթմների բարդությունը:

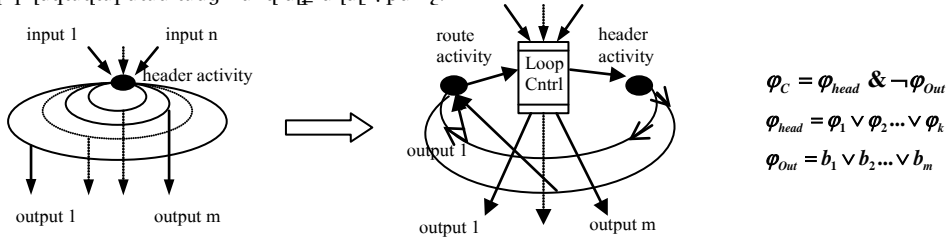
Բնութագրիչների վերլուծության ընդհանուր մեթոդ

1. Եթե պրոցեսը նախագծված է ոչ կառուցվածքային ցիկլերով, ապա կատարել համարժեք ձևափոխություն և դարձնել այն Loop ցիկլերով:
2. Մշակել արդյունավետ վերլուծության ալգորիթմ ացիկլիկ պրոցեսների համար:
3. Ընդլայնել ալգորիթմը Loop ցիկլերով պրոցեսի համար:
4. Կիրառել մշակված ալգորիթմը:

§2.5–ում ներկայացված է ոչ կառուցվածքային ցիկլերի ձևափոխության մեթոդը և նրա հիմնավորումը: Այն հիմնված է *ինտերվալի* գաղափարի վրա, որը առաջին անգամ ներկայացվել է Ֆ.Ե.Ալենի և ուրիշների աշխատանքներում¹⁰, որոնք նվիրված էին ծրագրերի օպտիմիզացիային: Ինտերվալը դա մաթեմատիկական ենթագրաֆ է, որը ունի միայն 1 մուտքային գագաթ և այդ ենթագրաֆի կամայական ցիկլ անցնում է այդ գագաթով (նկ.2–ի առաջին մաս):

Մեթոդը բաղկացած է երկու հիմնական քայլերից: Առաջին հերթին պրոցեսի ղեկավարման գրաֆը տրոհվում է ինտերվալների հիերարխիայի՝ Ֆ.Ե.Ալենի առաջարկած մեթոդով: Եթե դա հնարավոր չէ (գրաֆը չկրճատվում է irreducible), ապա կատարվում են համարժեք ձևափոխություններ՝ գրականությունից հայտնի մեթոդներով^{10,11}, որից հետո ստացվում է կրճատվող (reducible) պրոցես: Հաջորդ քայլով ստացված ինտերվալները ձևափոխվում են Loop-երի:

Ինտերվալի ձևափոխումը (նշ LT) Loop -ի գրաֆիկական տեսքով ներկայացված է նկար 2-ում, որտեղ φ_C -ն ցիկլի պայմանն է, $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ -ն ինտերվալի մուտքային գագաթից դուրս եկող ղեկավարման անցումների պայմաններն են, իսկ b_i -ն կատարման ընթացքում ցույց է տալիս i -րդ ղեկավարման անցումով ելք եղել է թե ոչ:



նկ.2 Ինտերվալի ձևափոխումը Loop-գործույթի

¹⁰Allen F.,Cocke J., “A Program Data Flow Analysis Procedure” IBM Thomas J. Watson Research Center, Communications of the ACM, Vol. 19, No.3 pp 137-147, N. Y. 1976.
¹¹Schaefer M., “Mathematical Theory of Global Program Optimization”, Prentice-Hall, N.J.,1973.

Պրոցեսը կոչվում է ճիշտ (sound) կառուցված², եթե այն չի պարունակում սինխրոնիզացիան սխալներ (deadlocks and lack of synchronization errors): Պրոցեսների կառուցվածքային ճշտության ստուգման վերաբերյալ կան բազմաթիվ հետազոտական աշխատանքներ և ծրագրային համակարգեր: Այդ խնդիրը դուրս է սույն աշխատանքի դիտարկման տիրույթից:

Թեղքներ: Եթե բիզնես պրոցեսի ղեկավարման գրաֆը *կրճատվող* է, և *ճիշտ* կառուցված, ապա $LT(W)$ և W -ն ֆունկցիոնալ համարժեք են՝ $LT(W) \square W$:

Ոչ կառուցվածքային ցիկլերով W պրոցեսի ձևափոխումը Loop ցիկլերով պրոցեսի.

0. Եթե W -ն *ճիշտ կառուցված* չէ, ապա ավարտել աշխատանքը:
1. W -ն տրոհել ինտերվալների հիերարխիայի:
Եթե W -ն *կրճատվող* է, ապա անցում կատարել կետ 3-ին, հակառակ դեպքում անցում կատարել կետ 2-ին:
2. Կատարել W -ի ձևափոխություն՝ դարձնելով այն *կրճատվող*:
Եթե ձևափոխությունը հաջողվել է, ապա կրկնել 1 կետը, այլապես ավարտել աշխատանքը:
3. Ձևափոխել ինտերվալները Loop -երի:

BIT պրոցեսների գրադարանի ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ ընդամենը մի քանի պրոցեսներ են *չկրճատվող*, որոնց վրա կիրառելի են հիշատակված մեթոդները(4-րդ գլուխ):

§2.5-ում ներկայացված է *ցիկլիկ բիզնես պրոցեսների վերլուծության նոր մեթոդը* և նրա առավելությունները: Նոր մեթոդը կայանում է հետևյալում.

1. Բերել պրոցեսը կանոնիկ Loop ցիկլերով տեսքի:
2. Մշակել վերլուծության ալգորիթմը ացիկլիկ պրոցեսների համար:
3. Ընդլայնել ալգորիթմը Loop ցիկլերով պրոցեսի համար:

Հետագա գլուխներում մշակված են պրոցեսների բնութագրիչների վերլուծության ալգորիթմներ սկզբում ացիկլիկ պրոցեսների համար, այնուհետև դրանք ընդլայնված են Loop ցիկլերով պրոցեսի համար՝ օգտագործելով դինամիկ ծրագրավորման մեթոդը:

Ճիշտ կառուցված պրոցեսը կանոնիկ տեսքի բերելու քայլերն են.

1. Եթե պրոցեսի ղեկավարման գրաֆը ինտերվալների տրոհվող չէ, ապա կատարել համարժեք ձևափոխություն և բերել այն տրոհվող տեսքի:
2. Տրոհել պրոցեսի գրաֆը ինտերվալների:
3. Ձևափոխել ինտերվալները Loop գործույթների:

Ներկայացված մեթոդը կիրառվել է BIT գրադարանի վրա, որտեղ ընդամենը մի քանի պրոցեսներ են ինտերվալների չտրոհվող, որոնք հեշտությամբ բերվում են տրոհվող տեսքի:

Երրորդ գլխում ներկայացված են բիզնես պրոցեսների *արտադրողականության ընդլայնման վերլուծության* նոր մեթոդներ և ալգորիթմներ:

Առաջարկված են ստատիկ և դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների որոնման խնդրի լուծումներ: Ի տարբերություն այս ասպարեզի այլ աշխատանքների՝ դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների որոշման ժամանակ հաշվի է առնված պրոցեսի կատարողների կապերի և վերջնաժամկետի առկայությունը, որը թույլ է տալիս ավելի լավ արդյունքներ ստանալ:

Ընդհանուր դեպքում դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների համար առաջարկված են բավարար պայմանների հիման վրա կառուցված ալգորիթմներ, իսկ միարժեք փոխադրելություններով պրոցեսների համար խնդիրը լուծված է ամբողջությամբ:

Առաջարկված են նաև բիզնես պրոցեսների ժամանակի, եկամուտի, ծախսերի, շահույթի բնութագրիչների հաշվարկման ալգորիթմներ: Ներկայացված է մեթոդ, որը շնորհիվ մոդելում ներմուծված Loop կառուցվածքի, թույլ է տալիս ացիկլիկ պրոցեսների համար մշակված վերլուծության ալգորիթմները ընդլայնել և կիրառել ցիկլիկ պրոցեսների համար:

§3.1.1–ում ներկայացված է պրոցեսի *կատարողների փոխադրելության* վերլուծությունը:

Պրոցեսի կատարողները կարող են լինել կոմպլեքս մեքենաներ, ծրագրային միջոցներ, անձիք, կազմակերպություն, դերեր և այլն: Եթե կատարողը չի կարող միաժամանակ կատարել մեկից ավելի գործույթ, ապա այդ գործույթները պետք է դրվեն հերթի, և հետևաբար նրան-

ցից մեկի կատարումը անուղղակիորեն կազդի մյուսի կատարման տևողության վրա՝ այն կհետաձգվի: Այդ տիպի կատարողներին կանվանենք ատոմար $A \in P_A \Rightarrow \forall t \in T, |\Omega(A), t| = 1$:

Կատարողների փոխազդեցությունների գրաֆը կասհմանենք՝ $G_{perf} = \langle N, F \rangle$, որտեղ

$$F = \{(A_k, A_m) \mid A_k \in N, A_m \in N, A_k \neq A_m, \Omega(A_k) = \Omega(A_m), \Omega(A_k) \in P_A\}$$

Երբ միևնույն ատոմար կատարողի գործույթները գտնվում են պրոցեսի այլընտրանքային ճյուղերում, ապա կատարման ժամանակ նրանք չեն կարող ազդել միմյանց վրա: Այդ տիպի փոխազդեցությունները կոչվում են ավելցուկային:

Կատարողների փոխազդեցության կրճատված գրաֆ է կոչվում հետևյալ գույգը $G'_{perf} = \langle N, F' \rangle$, որտեղ F' -ը ոչ ավելցուկային փոխազդեցությունների բազմությունն է $F' \subseteq F$:

Դիցուք Nt -ն բնական թվերի բազմություն է, իսկ Tn -ը ճյուղավորման գործույթների ելքային ղեկավարման անցումների հետևյալ համարակալումը.

$$\forall A \in N^*, Tn(A): A_E^* \rightarrow Nt, \forall A \in N_{\&}^*, \forall e \in A_E^*, Tn(A)(e) = 1 :$$

Կամայական գործույթի կհամապատասխանեցնենք կշիռ՝ $Wg(A)$, որը պարունակում է $\langle B, Tn(B)e \rangle$ տիպի բոլոր գույգերը, որտեղ B -ն ճյուղավորման գործույթ է և A -ն պատկանում է B -ի $Tn(B)e$ -ը ճյուղին և $\langle B, All \rangle$ ՝ եթե A -ն պատկանում է B -ի բոլոր ճյուղերին:

Լեմմա: (A, B) կատարողների փոխազդեցությունը ավելցուկային է, այն և միայն այն դեպքում, երբ $\exists C \in N_{\&}^*, \exists n \in Nt, m \in Nt, n \neq m$, այնպես որ

$$\langle C, n \rangle \in Wg(A), \langle C, m \rangle \in Wg(B) \text{ և } \langle C, n \rangle \notin Wg(B), \langle C, m \rangle \notin Wg(A) :$$

Փոխազդեցության կրճատված գրաֆի ստացում (ալգորիթմի հիմնական քայլերը)

1. Շերտերի բաժանում:

$$Level(i) = \{A \mid DistanceFromStart(A) = i\}$$

2. Wg Կշիռների վերագրում:

Յուր. հաջորդ շերտի կշիռները հաշվարկվում են նախորդ շերտերի կշիռների հիման վրա:

3. Ոչ ավելցուկային փոխազդեցությունների ստացում:

Կատարվում է նախորդ լեմմայի պայմանների ստուգում

Ալգորիթմի բարդությունը $O((|F| + |N|) \cdot MxE^3 \cdot |N_{\&}^*|)$ է, որտեղ MxE -ն գործույթների մաքսիմալ ճյուղավորումների քանակն է: Ալգորիթմի կոռեկտությունը ապացուցված է:

§3.1.2 –ում սահմանված են պրոցեսների ժամանակային բնութագրիչները, ապացուցված են նրանց վերաբերող մի շարք լեմմաներ: Ներկայացված է բնութագրիչների հաշվարկման ալգորիթմը: Ալգորիթմի բարդությունը գնահատված է, ապացուցված է նրա կոռեկտությունը:

A գործույթի կատարման տևողությունը սահմանվում է՝ $Dur(A) = t_{WA} + t_A$, որտեղ t_A -ն հանդիսանում է գործույթի կատարման տևողությունը, իսկ t_{WA} -ն սպասելու տևողությունը:

W պրոցեսի $G_{control}$ գրաֆի $P = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ լրիվ ճանապարհը կոչվում է D -կրիտիկական (դինամիկ), եթե գոյություն ունի պրոցեսի այսպիսի էկզեմպլյար, որտեղ ճանապարհի տևողությունը մեծ է պրոցեսի վերջնաժամկետից (deadline). $PathDur(A_1, \dots, A_n) = \sum_{i=1}^n Dur(A_i) > T_D$

Տրված ճանապարհի Ստատիկ ժամանակային բնութագրիչ է կոչվում նրա գործույթների տևողությունների հանրագումարը՝ $P = (A_1, A_2, \dots, A_n)$, $TC(A_1, \dots, A_n) = \sum_{i=1}^n t_{Ai}$:

Լեմմա: Եթե ճանապարհը S -կրիտիկական է (ստատիկ), ապա այն D -կրիտիկական է:

Հետևյալ $MxTC_G(A)$ և $MnTC_G(A)$ թվերը կոչվում են G գրաֆում A գործույթի մաքսիմալ և մինիմալ ժամանակային բնութագրիչներ և սահմանվում են հետևյալ կերպ.

1. Եթե $A^* = \emptyset$, ապա $MxTC_G(A) = MnTC_G(A) = t_A$

2. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B\}$, ապա $MnTC_G(A) = MnTC_G(B) + t_A$, $MxTC_G(A) = MxTC_G(B) + t_A$
3. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ և $A \in N_{\&}$ (AND տիպի միակցման գործույթ է), ապա

$$MxTC_G(A) = MnTC_G(A) = \mathop{\text{ma}}_{1 \leq i \leq n} (MxTC_G(B_i)) + t_A$$
4. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ և $A \in N_X$ (XOR տիպի միակցման գործույթ է), ապա

$$MnTC_G(A) = \min_{1 \leq i \leq n} (MnTC_G(B_i)) + t_A, \quad MxTC_G(A) = \max_{1 \leq i \leq n} (MxTC_G(B_i)) + t_A$$

Բնութագրիչների հաշվարկման համար առաջարկված է ալգորիթմ, որը հիմնված է դինամիկ ծրագրավորման մեթոդի վրա: Ալգորիթմի կոռեկտությունը ապացուցված է, բարդությունը գնահատված՝ $O(|N| + |E|)$:

§3.1.3 –ում ներկայացված են ստատիկ և դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների որոնման խնդրի լուծումները: D-կրիտիկական ճանապարհների որոշման համար, կառուցվել է պրոցեսի համադրված գրաֆը, որը ստացվում է ղեկավարման, տվյալների և կատարողների կապերի գրաֆներից: Ապացուցվել են բավարար պայմաններ և նրանց հիման վրա կառուցվել են ալգորիթմներ, որոնք վերլուծելով համադրված գրաֆի S-կրիտիկական ճանապարհները և անուղղակի փոխազդեցությունները, ստանում են պրոցեսի D-կրիտիկական ճանապարհները: Վերջիններս կարող են առաջանալ մի քանի անուղղակի փոխազդեցությունների համադրությունից, որի իրականացումը կախված է պրոցեսի կատարումից և մուտքային պայմաններից: Այդ պատճառով ապացուցված թեորեմները բավարար, բայց ոչ անհրաժեշտ պայմաններ են: Միարժեք փոխազդեցություններով պրոցեսների դասի համար առաջարկվել է խնդրի ամբողջական լուծում: Բոլոր առաջարկված ալգորիթմների բարդությունները գնահատված են, ապացուցված է նրանց կոռեկտությունը:

Թեորեմ: Դիցուք $P = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ ճանապարհի համար $TC(A_1, \dots, A_n) > M - \varepsilon$, որտեղ $\varepsilon < M$ և $M = MxTC_G(A_n)$, այդ դեպքում $\forall A_i, 1 \leq i \leq n$ համար $TC(A_1, \dots, A_i) > m - \varepsilon$, որտեղ $m = MxTC_G(A_i)$:

S-կրիտիկական ճանապարհների որոշման համար առաջարկված է ալգորիթմ, որը հենված է վերոհիշյալ թեորեմի վրա և օգտագործում է դինամիկ ծրագրավորման մեթոդը: Ալգորիթմի կոռեկտությունը ապացուցված է, բարդությունը գնահատված՝ $O(P \cdot (|N| + |E|))$, որտեղ P –ն S-կրիտիկական ճանապարհների քանակն է:

(A, B) կատարողների փոխազդեցությունը կոչվում է ուղղակի, եթե $G_{control} \leftarrow (A, B, c) \rightarrow E$ or $(A, B, c) \rightarrow E$: Հակառակ դեպքում (A, B) փոխազդեցությունը կոչվում է անուղղակի:

$SG \leftarrow \langle N, I \rangle$ համադրված գրաֆը ուղղորդված է և սահմանվում է $G_{control} \leftarrow \langle N, E \rangle$, $G_{data} \leftarrow \langle N, \Sigma \rangle$, $G'_{perf} \leftarrow \langle N, F' \rangle$ գրաֆերի համադրմամբ: Քանի որ G'_{perf} –ը ուղղորդված չէ, ուստի կամայական պրոցեսի համապատասխանում է համադրված գրաֆերի բազմություն՝ SG_SetAll , որոնք իրարից տարբերվում են կատարողների անուղղակի փոխազդեցությունների ուղղորդվածությամբ: $|SG_Set| = 2^{|F''|}$, որտեղ $F'' \subseteq F'$ և հանդիսանում է կատարողների անուղղակի փոխազդեցությունների բազմությունը:

Տրված համադրված գրաֆը կոչվում է հենքային(primary) և նշանակվում է SG_p այն և միայն այն դեպքում, եթե գրաֆին պատկանող կատարողների կամայական անուղղակի փոխազդեցության համար $\langle A, B \rangle \in I$, $(A, B) \in F''$, տեղի ունի՝ $MxTC_{G_{control}}^-(A) < MxTC_{G_{control}}^-(B)$:

Լեմմա: Կամայական պրոցեսի հենքային համադրված SG_p գրաֆը ցիկլեր չի պարունակում:

SG_p –ի կառուցման համար առաջարկված է ալգորիթմ: Ալգորիթմի կոռեկտությունը ապացուցված է, բարդությունը գնահատված՝ $O(|N| + |E| + |\Sigma| + |F'| + |F''|)$:

Ապացուցվել են D-կրիտիկական ճանապարհների հատկանիշներին վերաբերող մի շարք թեորեմներ, որոնց հիման վրա ապացուցվել են հետևյալ երկու հիմնական թեորեմները:

Թեորեմ (I քավարար պայման): Գիցուք W պրոցեսի համար տեղի ունի հետևյալը.

1. $P_{SG} = (A_1, \dots, A_n)$ ճանապարհը $SG \in SG_Set$ գրաֆի լրիվ S -կրիտիկական ճանապարհ է:
2. $\langle A_k, A_{k+1} \rangle$ -ը P_{SG} -ի կատարողների միակ անուղղակի փոխազդեցությունն է:
3. $G_{control}$ -ի (A_1, \dots, A_k) ճանապարհը և նրան միակցված ճանապարհները չեն պարունակում անուղղակի փոխազդեցություններին մասնակցող գործույթներ (բացի $\langle A_k, A_{k+1} \rangle$ -ից):
4. PCR -ը $G_{control}$ -ում այն ճանապարհների բազմ. է, որոնք պարունակում են (A_{k+1}, \dots, A_n) ենթաճանապարհը, և որոնց միջոցով մինչև A_{k+1} հասնելու ժամ. բնութագրիչը մեծ է քան P_{SG} -ով մինչև A_k հասնելու իրական ժամ. բնութագրիչը՝ $TC_r^-(A_1, \dots, A_k)$:

Այդ դեպքում PCR բազմության բոլոր ճանապարհները և նրանց միակցված ճանապարհները D -կրիտիկական են:

Թեորեմ (II քավարար պայման): Գիցուք W պրոցեսի համար տեղի ունի հետևյալը.

1. $P_{SG} = (A_1, \dots, A_n)$ ճանապարհը $SG \in SG_Set$ գրաֆի լրիվ S -կրիտիկական ճանապարհ է:
2. $\langle A_k, A_{k+1} \rangle$ -ը P_{SG} -ի վերջին կատարողների անուղղակի փոխազդեցությունն է:
3. Տեղի ունի հետևյալ անհավասարությունը. $MnTC_{G_{control}}^-(A_k) + TC(A_k, \dots, A_n) > T_D$:
4. PCR -ը $G_{control}$ -ում այն ճանապարհների բազմ. է, որոնք պարունակում են (A_{k+1}, \dots, A_n) ենթաճանապարհը, և որոնց միջոցով մինչև A_{k+1} հասնելու ժամանակային բնութագրիչը մեծ է քան հետևյալ մեծությունը. $\max_{SG \in SG_Set} (MxTC_{SG}^-(A_k))$:

Այդ դեպքում PCR բազմության բոլոր ճանապարհները և նրանց միակցված ճանապարհները D -կրիտիկական են:

Սահմանում: W պրոցեսը կոչվում է Միարժեք Փոխազդեցություններով (ՄՓ), եթե նրա կամայական $SG \in SG_Set$ համադրված գրաֆ չի պարունակում որևէ P ճանապարհ, որը ունի մեկից ավել անուղղակի կատարողների փոխազդեցություն:

Թեորեմ (Անհրաժեշտ և քավարար պայման): W ՄՓ պրոցեսի $G_{control}$ -ի $P = (B_1, \dots, B_m)$ ճանապարհը D -կրիտիկական է այն և միայն այն դեպքում, եթե P -ի համար տեղի ունի հետևյալ 3 պայմաններից որևէ մեկը:

1. P -ն S -կրիտիկական է:
2. SG գրաֆում \exists լրիվ S -կրիտիկական ճանապարհ $P_{SG} = (A_1, \dots, A_n)$, որի համար.
 - $\langle A_k, A_{k+1} \rangle$ -ը հանդիսանում է կատարողների անուղղակի փոխազդեցություն,
 - P -ն պարունակում է (A_{k+1}, \dots, A_n) ենթաճանապարհը:
 - P ճանապարհով մինչև A_{k+1} հասնելու ժամանակային բնութագրիչը մեծ է քան P_{SG} -ով մինչև A_k հասնելու իրական ժամ. բնութագրիչը՝ $TC^-(B_1, \dots, A_{k+1}) > TC_r^-(A_1, \dots, A_k)$
3. $\exists P'$ ճանապարհ, որը միակցված է P -ին և որի համար տեղի ունի 1 կամ 2 պայմանը:

Սահմանում: ՄՓ պրոցեսը կոչվում է խիստ ՄՓ, եթե այն ունի այնպիսի SG գրաֆ, որ նրա կատարողների \square անուղղակի փոխազդեցության համար $(A_k, A_m) \in F''$, $\langle A_k, A_m \rangle \in I$,

$SG = \langle N, I \rangle$ տեղի ունի հետևյալ անհավասարությունը. $MxTC_{G_{control}}^-(A_k) < MnTC_{G_{control}}^-(A_m)$:

Խիստ ՄՓ պրոցեսը կարող է ունենալ միայն 1 SG գրաֆ, որը քավարարում է սահմանմանը: Այդ դասի համար թեորեմի 2 կետի անհավասարությունը միշտ տեղի ունի, ուստի անհրաժեշտ և քավարար պայմանի թեորեմը ընդունում է ավելի պարզ տեսք:

D -կրիտիկական ճանապարհների որոնման համար մշակվել են մի շարք օժանդակ և երկու հիմնական ալգորիթմներ՝ հիմնված երկու քավարար պայմանների վրա: Բավարար պայմանների վրա հենված ալգորիթմների հիմնական քայլերը հետևյալն են.

D - Կրիտիկական ճանապարհների որոնում

1. Ժամանակային բնութագրիչների հաշվարկ $G_{control}$ -ում՝ $MxTC_{G_{control}}(A)$, և $MnTC_{G_{control}}(A)$
2. Հենքային համադրված գրաֆի կառուցում՝ SG_p :
3. Մաքսիմալ ժամանակային բնութագրիչների հաշվարկ SG_p -ում՝ $MxTC_{SG_p}(A)$:
4. SG_p -ում S -կրիտիկական ճանապարհների որոնում P_{SG_set} :
5. Բավարար պայմանի ստուգում:

5.1. SG_p -ի կրիտիկական ճանապարհների ընտրություն:

5.2. Կրիտիկական ճանապարհների ստացում:

5.3. Միակցված կրիտիկական ճանապարհների ստացում:

Ալգորիթմների կոռեկտությունը ապացուցված է: Առաջին ալգորիթմի բարդությունը $O(P \cdot (|N| + |I| + |E|))$ է, իսկ երկրորդինը՝ $O(2^{P \cdot n} \cdot (|N| + |I|) + P \cdot (|N| + |I| + |E|))$ որտեղ P-ն կրիտիկական ճանապարհների քանակն է: ՄՓ պրոցեսների համար առաջին ալգորիթմը գտնում է բոլոր կրիտիկական ճանապարհները:

§3.1.4 –ում սահմանված են պրոցեսի ծախսի, եկամտի, շահույթի բնութագրիչները և ներկայացված են նրանց հաշվարկման մեթոդները:

Հետևյալ $MxE(A)$ և $MnE(A)$ թվերը կոչվում են W պրոցեսում A գործույթի կատարման մաքսիմալ և մինիմալ ծախսի բնութագրիչ և սահմանվում են հետևյալ կերպ.

1. Եթե $A^{\leftarrow} = \emptyset$, ապա $MxE(A) = MnE(A) = E_A$
2. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B\}$, ապա $MnE(A) = MnE(B) + E_A$, $MxE(A) = MxE(B) + E_A$
3. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ և $A \in N_{\&}$ (AND տիպի միակցման գործույթ է), ապա

$$MxE(A) = \sum_{i=1}^n MxE(B_i) + E_A, MnE(A) = \sum_{i=1}^n MnE(B_i) + E_A$$

4. Եթե $A^{\leftarrow} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ և $A \in N_X$ (XOR տիպի միակցման գործույթ է), ապա

$$MnE(A) = \min_{1 \leq i \leq n} (MnE(B_i)) + E_A, MxE(A) = \max_{1 \leq i \leq n} (MxE(B_i)) + E_A$$

Մաքսիմալ և մինիմալ եկամտի բնութագրիչները $MxI(A)$ և $MnI(A)$ սահմանվում են համանման ձևով, իսկ շահույթի բնութագրիչները սահմանվում են հետևյալ կերպ. $MxP(A) = MxI(A) - MnE(A)$, $MnP(A) = MnI(A) - MxE(A)$:

W պրոցեսի մաքսիմալ ծախս է կոչվում հետևյալ թիվը $WMxE = \max\{MxE(B) | B^{\rightarrow} = \emptyset\}$: Պրոցեսի մաքսիմալ և մինիմալ եկամուտը, շահույթը սահմանվում են համանման ձևով:

Վերոհիշյալ բնութագրիչների հաշվարկումը կարելի է կատարել ժամանակային բնութագրիչների հաշվարկման ալգորիթմի միջոցով:

W պրոցեսի $P = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ լրիվ ճանապարհը կոչվում է կրիտիկական ծախս ունեցող, եթե գոյություն ունի W պրոցեսի այսիսի էկզեմպլյար, որտեղ ճանապարհի կատարման ծախսը մեծ է սահմանված գումարից՝ $E(A_1, \dots, A_n) > E_M$:

Թեորեմ: Դիցուք $P = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ ճանապարհի համար $E(A_1, \dots, A_n) > M - \varepsilon$, որտեղ $\varepsilon < M$ և $M = MxE(A_n)$, այդ դեպքում $\forall A_i, 1 \leq i \leq n$ համար $E(A_1, \dots, A_i) > m - \varepsilon$, որտեղ $m = MxE(A_i)$:

Թեորեմից հետևում է, որ կրիտիկական ծախս ունեցող ճանապարհների որոնման համար կարելի է կիրառել S-կրիտիկական (ժամանակային) ճանապարհների որոնման ալգորիթմը: Նմանատիպ պնդում տեղի ունի մալ եկամտների համար, ուստի կարելի է գտնել ամենա-եկամտաբեր ճանապարհները (եկամուտը մեծ է սահմանված գումարից) $I(A_1, \dots, A_n) > I_M$:

§3.2 –ում ներկայացված է ցիկլեր պարունակող պրոցեսների վերլուծության մեթոդը:

Նախորդ պարագրաֆներում առաջարկվող ալգորիթմները նախատեսված են ացիկլիկ պրոցեսների համար: Եթե պրոցեսը պարունակում է Loop տիպի գործույթներ, որոնց բնութագրիչները հայտնի են, ապա կարելի է անմիջականորեն կիրառել այդ ալգորիթմները՝ միայն մեկ բացառությամբ. D-կրիտիկական ճանապարհների որոնման ալգորիթմները կիրառելի են միայն այն դեպքում, եթե Loop-երի մարմնի գործույթների և նրանից դուրս գտնվող գործույթների միջև գոյություն չունեն կատարողների փոխազդեցություններ:

Եթե Loop տիպի գործույթների բնութագրիչները հայտնի չեն, ապա կարելի է կիրառել այլ տեխնոլոգիա՝ ռեկուրսիվ կիրառելով ացիկլիկ պրոցեսների ալգորիթմը:

Ֆիկլիկ պրոցեսների մաքսիմալ և մինիմալ բնութագրիչների որոշում (հիմնական քայլերը)

1. *Սկզբնական քայլ:*

Որպես ընթացիկ գրաֆ վերցնել $G := G_{control}$ (այն չի պարունակում ուղղակի ցիկլեր)։

2. *Բնութագրիչների հաշվարկ:*

Կիրառել ացիկլիկ պրոցեսների Mx , Mn բնութագրիչների որոշման ալգորիթմը: Ալգորիթմի յուր. քայլում տվյալ գործույթի բնութագրիչը որոշվում է իրեն նախորդող գործույթների բնութագրիչների հիման վրա:

Եթե տվյալ A գործույթը Loop է, ապա նրա բնութագրիչը հաշվարկել հետևյալ կերպ.

2.1. *Ռեկուրսիվ քայլ:*

Որպես ընթացիկ G գրաֆ վերցնել A գործույթի մարմինը և ռեկուրսիվ կիրառել 2. կետը (դա հնարավոր է, քանի որ այն ուղղակի ցիկլեր չունի):

2.2. *Loop գործույթի բնութագրիչների որոշում:*

Որպես A գործույթի $Mn(A)$ բնութագրիչ վերցնել G գրաֆի վերջնական գործույթի Mn բնութագրիչը:

Որպես A գործույթի $Mx(A)$ բնութագրիչ վերցնել $It \bullet Mx$, որտեղ Mx -ը G գրաֆի վերջնական գործույթի Mx բնութագրիչն է, իսկ It -ն Loop գործույթի խտրացիաների մաքսիմալ քանակն է:

Փաստորեն վերը ներկայացված ալգորիթմի միջոցով հնարավոր է որոշել ցիկլեր պարունակող գործույթների մաքսիմալ և մինիմալ եկամուտի, ծախսի, շահույթի և ժամանակի բնութագրիչները՝ $MxI(A)$, $MnI(A)$, $MxE(A)$, $MnE(A)$, $MxP(A)$, $MnP(A)$, $MxTC(A)$, $MnTC(A)$: Սակայն պետք է հաշվի առնել, որ Mx բնութագրիչները կարելի որոշել միայն այն դեպքում, եթե հնարավոր է գնահատել Loop տիպի գործույթների խտրացիաների մաքսիմալ քանակները:

Չորրորդ գլխում ներկայացված է բիզնես պրոցեսների արտադրողականության բնութագրիչների վերլուծության BP Analyzer համակարգը, որում իրականացված են առաջարկված վերլուծության ալգորիթմները:

Համակարգը մշակվել է AS-4X¹² հենքային համակարգի (platform) հիման վրա, որը հանդիսանում է բիզնես պրոցեսների մոդելավորման, ավտոմատացման և դեկավարման համակարգ և նախատեսված է բիզնես կիրառություններ մշակելու համար (Workflow-based applications): BP Analyzer համակարգը կարող է օգտագործվել և՛ որպես առանձին բնութագրիչների վերլուծության համակարգ, և՛ որպես AS-4X համակարգի մի կոմպոնենտ:

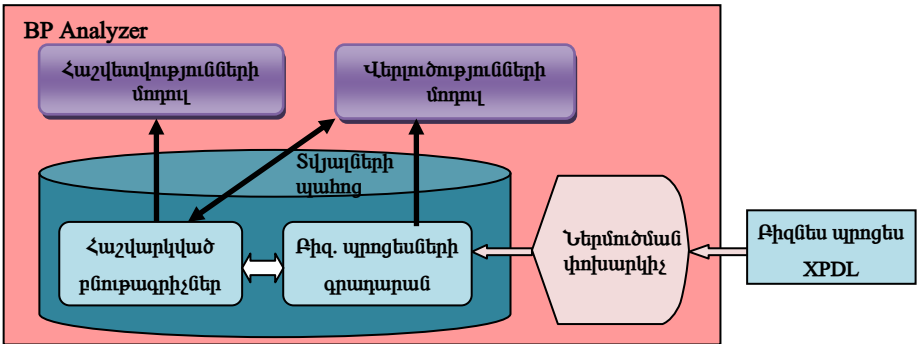
Որպես AS-4X-ի կոմպոնենտ՝ BP Analyzer-ը ունի երկու հիմնական կիրառություն: Առաջինը՝ այն օգտագործվում է Workflow կիրառությունների նախագծման փուլում՝ որպես ավտոմատացվող պրոցեսների վերլուծության գործիք: Իսկ երկրորդը՝ այն օգտագործվում է Workflow կիրառությունների աշխատանքի ընթացքում օգտագործողների կողմից կիրառվող պրոցեսների վերլուծության և ամենաարդյունավետ կոնֆիգուրացիայի ընտրության համար:

BP Analyzer համակարգը փորձարկվել է IBM-ի կողմից մշակված BIT պրոցեսների գրադարանի վրա: Արդյունքները համեմատվել են պրոցեսների նախագծման և վերլուծության համար նախատեսված արդի ամենազարգացած համակարգերից մեկի՝ IBM WebSphere

¹² AS-4X System, ArmSoft Ltd, http://www.armsoft.am/soft_techn.html.

Business Modeler-ի արդյունքների հետ, որով հիմնավորվել են աշխատանքում առաջարկված մեթոդների և ալգորիթմների արդյունավետությունն ու առավելությունները:

§4.1-ում ներկայացված է BP Analyzer-ի կառուցվածքը և ֆունկցիոնալությունը (նկ.3):



Նկ 3 BP Analyzer համակարգի ներքին կառուցվածքը

Համակարգը հնարավորություն է տալիս.

- Նկարագրել բիզնես պրոցեսներ՝ իրենց գործույթներով, կատարողներով, գործույթների բնութագրիչներով:
- Ստեղծել բիզնես պրոցեսների գրադարան (իրենց բնութագրիչներով):
- Ներմուծել այլ համակարգերում մշակված բիզնես պրոցեսներ՝ ստանդարտ XPDL ֆայլերի միջոցով:
- Կատարել պրոցեսների բնութագրիչների վերլուծություն:
- Ստանալ հաշվետվություններ պրոցեսների բնութագրիչների վերաբերյալ և դրանց հիման վրա մշակել նոր հաշվետվություններ:

§4.2-ում ներկայացված է BP Analyzer-ի կիրառությունը՝ որպես AS-4X հենքային համակարգի կոմպոնենտ:

§4.3-ում ներկայացված են BP Analyzer համակարգի փորձարկման արդյունքները և համեմատական վերլուծությունը:

Համակարգը փորձարկվել է IBM-ի կողմից մշակված BIT պրոցեսների գրադարանի վրա: Այն բաղկացած է 5 ենթագրադարաններից (A, B1, B2, B3, C) և պարունակում է ավելի քան 735 արտադրական բիզնես պրոցեսներ՝ բանկային, ապահովագրության, հաճախորդների սպասարկման, ապրանքների մատակարարման, շինարարության և այլ ոլորտներից: Փորձարկման արդյունքները համեմատվել են IBM WebSphere Business Modeler համակարգի փորձարկման արդյունքների հետ:

Քանի որ բնութագրիչների վերլուծության համար անհրաժեշտ է ունենալ ճիշտ կառուցված (Sound) պրոցեսներ, որոնք չեն պարունակում deadlock-ներ և այլ սինխրոնիզացման սխալներ, ուստի փորձարկման առաջին փուլում ֆիլտրվել են BIT գրադարանի ոչ ճիշտ պրոցեսները IBM-ի համակարգի օգնությամբ: Այնուհետև ճիշտ կառուցված պրոցեսները արտահանվել են XPDL ֆորմատի և ներմուծվել BP Analyzer համակարգ, որից հետո կատարվել է վերլուծություն: Այսպիսով, փորձարկման համար կատարվել են հետևյալ հիմնական քայլերը.

1. Դիշտ կառուցված (Sound) պրոցեսների ֆիլտրում,
2. Ստացված պրոցեսների դասում ցիկլիկ և ացիկլիկ պրոցեսների տարանջատում,
3. Ֆիլիլիկ պրոցեսների ձևափոխում LOOP կառուցվածքներով պրոցեսների,
4. Բնութագրիչների վերլուծության ալգորիթմների կիրառում:

Աղյուսակ 1-ում ներկայացված են բոլոր ենթագրադարանների պրոցեսների քանակները՝ ըստ տեսակների: Ինչպես երևում է աղյուսակից միայն 9 պրոցեսներ են ինտերվալների չտրոհվող, որոնց համար LOOP-ի ձևափոխությունը կատարվել է երկու քայլով: Նախ՝ նրանք

ձևափոխվել են համարժեք ինտերվալների տրոհվող պրոցեսների, այնուհետև կիրառվել է LOOP-ի ձևափոխման ալգորիթմը:

	A	B1	B2	B3	C
Sound	152	107	161	207	15
Acyclic	120	101	156	200	8
Cyclic	32	6	5	7	7
Reducible	148	106	160	206	13
Irreducible	4	1	1	1	2

Աղյուսակ 1. Ենթագրադարանների պրոցեսների քանակները՝ ըստ տեսակների:

Քանի որ BIT գրադարանի պրոցեսները ներկայացված են ձևանմուշների տեսքով (template), ուստի գեներացվել են պրոցեսների էկզեմպլարներ (instances), որոնց վրա կատարվել է վերլուծություն և՛ BP Analyzer-ի, և՛ IBM WebSphere Business Modeler-ի միջոցով:

Համեմատման արդյունքները հիմնավորում են մշակված ալգորիթմների արդյունավետությունն ու առավելությունները: Մասնավորապես, դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների վերլուծություն IBM-ի համակարգում կարելի է կատարել միայն սիմուլացիայից հետո, ուստի պրոցեսի աշխատանքը անհրաժեշտ է սիմուլացնել բազմաթիվ անգամներ՝ տարբեր մուտքային տվյալների համար, այսինքն՝ կատարել հատարկում: Բացի այդ IBM-ի համակարգի կրիտիկական ճանապարհների որոնման ալգորիթմը չի ուսումնասիրում գուգահեռ ճյուղերի փոխադրությունները: Այդ է պատճառը, որ BP Analyzer-ի միջոցով ստացվել են ավելի մեծ քանակով կրիտիկական ճանապարհներ (Աղյուսակ 2), իսկ վերլուծությունը կատարվել է ավելի արագ, քանի որ հատարկման կարիք չկար:

BP Analyzer-ը իր մեջ ներառում է մաև մի շարք նոր վերլուծության հնարավորություններ, ինչպիսիք են՝ պրոցեսների մաքսիմալ և մինիմալ բնութագրիչների հաշվարկ, ամենաեկամտաբեր ճանապարհների, կրիտիկական ծախս ունեցող ճանապարհների հայտնաբերում և այլն:

Libraries	A	B1	B2	B3	C
Tested process instances	180	225	175	245	30
Process instances with critical paths	97	120	94	131	16
Critical paths found by WebSphere Business Modeler	174	144	112	157	26
Critical paths found by BP Analyzer	306	216	200	280	42

Աղյուսակ 2. Զուգահեռ պրոցեսների դինամիկ կրիտիկական ճանապարհների վերլուծությունը՝ ըստ ենթագրադարանների

Հիմնական արդյունքներն ու եզրակացությունները

Աշխատանքի հիմնական արդյունքներն են.

- Ընդլայնվել է IBM's MQSeries Workflow բիզնես պրոցեսների ձևական մոդելը՝ վերլուծության համար անհրաժեշտ կառուցվածքներով, և համապատասխանեցվել WfMC ստանդարտներին: Ընդլայնումը թույլ է տալիս կատարել ձևական վերլուծություն, որի արդյունքները հեշտությամբ կիրառելի են ստանդարտներին համապատասխանող համակարգերում:[2,3,5]
- Մշակվել է ոչ կառուցվածքային ցիկլերով բիզնես պրոցեսների համարժեք ձևափոխության մեթոդ՝ LOOP ցիկլերով պրոցեսների, որը կիրառելի է BIT գրադարանի բոլոր պրոցեսների համար: [5]

- Մշակվել է LOOP ցիկլերով պրոցեսների բնութագրիչների վերլուծության ընդհանուր մեթոդ, որը կիրառելի է ոչ միայն հայտնի, այլև անհայտ դեկլարման հավանականություններով պրոցեսներին: Մեթոդը թույլ է տալիս ացիկլիկ պրոցեսների համար մշակված վերլուծության ալգորիթմները ընդլայնել ցիկլիկ պրոցեսների համար՝ պահպանելով ալգորիթմների բարդությունը: [5]
- Մշակվել են բիզնես պրոցեսների ստատիկ և դինամիկ (կատարումից կախված) ժամանակային կրիտիկական ճանապարհների որոշման ալգորիթմներ՝ հիմնված զուգահեռ ճյուղերի փոխազդեցությունների վերլուծության վրա: Սահմանվել է միարժեք փոխազդեցություններով պրոցեսների դասը, որի վրա ալգորիթմները տալիս են խնդրի ամբողջական լուծում: [1,2,3]
- Տրվել են բիզնես պրոցեսների առաջնային ֆինանսական բնութագրիչների ձևական սահմանումները և մշակվել են դրանց որոշման ալգորիթմները: [5]
- Մշակվել է բիզնես պրոցեսների վերլուծության ծրագրային համակարգ, որում կիրառվել են առաջարկված ալգորիթմները: [4]
- Ալգորիթմները փորձարկվել են BIT պրոցեսների գրադարանի վրա: Արդյունքները համեմատվել են ժամանակակից հայտնի IBM WebSphere Business Modeler համակարգի փորձարկման արդյունքների հետ, որով հիմնավորվել են մշակված ալգորիթմների առավելությունները ու արդյունավետությունը: [4,5]

Աւտոնախոսության քեմայի շրջանակներում հրապարակված աշխատություններ

1. P. Raulefs, S. Shoukourian, L.Tarumyan, V. Matevosyan, “Determination Of Critical Paths In Hammock-Type Processes”, In Proceedings of ASTC’2003, SCS International Advanced Simulation Technologies Conference ASTC’2003, Orlando, USA, pp. 241-246, 2003.
2. L. Tarumyan, “Determination of Critical Paths in Workflows”, In Proceedings of CSIT2005 Fifth International Conference on Computer Science and Information Technologies. Yerevan, Armenia, pp.602-606, 2005.
3. L. Tarumyan, “Timing Analysis for Workflow Processes”, In Proceedings of ESS’05, The 17th European Simulation Symposium and Exhibition Within I3M’05 International Mediterranean Modeling Multiconference, Marseille, France, pp. 51-57, 2005.
4. L.Tarumyan, “A System of Performance Characteristics Analysis for Business Processes” In Proceedings of CSIT2011 Eighth International Conference on Computer Science and Information Technologies. Yerevan, Armenia, pp.198-201, 2011.
5. L.Tarumyan, “Analysis of Characteristics for Cyclic Business Processes”, Transactions of IIAP of NAS of RA, Mathematical Problems of Computer Science, vol. 36, Yerevan, Armenia, pp. 28-40, 2012.

Система оценки ключевых характеристик
производительности бизнес процессов

РЕЗЮМЕ

Целью данной работы является нахождение решений для задач анализа ключевых характеристик производительности бизнес-процессов и их реализация в виде программной системы анализа ключевых характеристик.

Бизнес-процесс - это множество связанных процедур или действий, которые осуществляют политику и цели бизнеса, в контексте некоторой организационной структуры, определяющей функциональные роли и отношения.

В настоящее время передовые компании используют BPMS/WfMS системы для реализации жизненного цикла их бизнес-процессов, состоящего из четырех стадий: проектирование, разработка, выполнение, мониторинг. Во время этого цикла бизнес аналитики постоянно совершенствуют процессы путем анализа и реинжиниринга. Поэтому анализ характеристик производительности процессов играет важную роль для реинжиниринга бизнес-процессов, и BPMS/WfMS системы должны обеспечить соответствующую функциональность для анализа.

Существуют три основных подхода к анализу бизнес-процессов: формальный анализ, симуляция и мониторинг. Преимуществом формальных методов анализа является то, что они позволяют находить и исправлять недостатки процесса во время разработки. Недостатки, найденные на стадии мониторинга, приводят к дополнительной трате времени и ресурсов. Хотя симуляция применяется во время разработки, ее использование может привести к необходимости перебора. Поэтому разработка эффективных алгоритмов на основе формальных методов анализа становится очень важной в настоящее время.

К сожалению, существующие современные программные системы в основном содержат только инструментальные средства для симуляции и мониторинга. В настоящей работе получены решения некоторых проблем формального анализа, которые открывают возможность использования формальных методов в программных системах.

Трудности формального анализа связаны с специфической структурой и семантикой бизнес-процессов, например наличие точек синхронизации, параллельных ветвей, неструктурированных циклов и т.д. Даже для процессов, которые не содержат упомянутых структур, разработка эффективных алгоритмов анализа остается сложной задачей. Поэтому в подавляющем большинстве опубликованных научных статей, задача решается только для процессов с известными вероятностями переходов и со структурированными циклами. Лишь некоторые статьи рассматривают процессы с неизвестными вероятностями переходов, но все они ограничиваются рассмотрением ациклических процессов. Упомянутые вероятности уточняются после выполнения, поэтому эти методы не применимы во время разработки.

В данной работе предлагаются следующие решения:

- Формальная модель бизнес-процессов, которая включает в себя необходимые конструкции для их анализа и получения оценок, и соответствует стандартам WfMC.
- Общий метод эффективного анализа циклических процессов, который применим к процессам с параллельными ветвями и неструктурированными циклами.
- Алгоритмы анализа характеристик производительности бизнес-процессов, которые применимы на этапе разработки, когда вероятности переходов неизвестны.
- Разработанная на основе предложенных алгоритмов программная система для анализа характеристик производительности бизнес-процессов, эксперименты с которой подтвердили эффективность и преимущества разработанных методов.

На защиту выносятся следующие положения:

- Расширение формальной модели бизнес-процессов IBM's MQSeries Workflow.
- Метод эквивалентного преобразования бизнес-процессов с неструктурированными циклами в процессы с LOOP циклами.
- Метод расширения аналитических алгоритмов, первоначально разработанных для ациклических процессов, для циклических бизнес-процессов. Метод применим к процессам не только с известными, но и с неизвестными вероятностями переходов.
- Метод определения статических и динамических (в зависимости от исполнения) временных критических путей, который основан на анализе взаимодействия параллельных ветвей.
- Алгоритмы определения ключевых финансовых характеристик бизнес-процессов.
- Спроектированная программная система анализа характеристик бизнес-процессов, разработанная на основе предложенных методов.

Основные результаты:

- Формальная модель бизнес-процессов IBM MQSeries Workflow расширена необходимыми конструкциями для анализа, в соответствии с WfMC стандартами. Расширение позволяет легко реализовать результаты формального анализа в программных системах соответствующих стандартам.
- Разработан метод эквивалентного преобразования бизнес-процессов с неструктурированными циклами в процессы с LOOP циклами, который применим ко всем процессам библиотеки ВIT.
- Разработан общий метод анализа характеристик процессов с LOOP циклами, который применим к процессам не только с известными, но и с неизвестными вероятностями переходов. Метод позволяет расширить аналитические алгоритмы, первоначально разработанные для ациклических процессов, для циклических бизнес-процессов, сохраняя изначальную сложность алгоритмов.
- Разработан метод определения статических и динамических (в зависимости от исполнения) временных критических путей, который основан на анализе воздействий параллельных ветвей. Определен класс процессов с однозначными воздействиями, для которых задача решается полностью.
- Определены основные финансовые характеристики бизнес-процессов и разработаны алгоритмы их определения.
- Разработана программная система анализа характеристик бизнес-процессов, где реализованы предложенные алгоритмы.
- Алгоритмы протестированы на библиотеке процессов ВIT. Результаты сравнены с экспериментальными результатами известной современной системы IBM WebSphere Business Modeler. Сравнение подтвердило эффективность и преимущества предложенных алгоритмов.

Key Performance Characteristics Evaluation System
for Business Processes

RESUME

The aim of the thesis is to suggest solutions for business process key performance characteristics analysis and their implementation as a software system of key performance characteristics analysis of business processes.

Business process is a set of linked procedures or activities, which realize a business objective or policy goal, within the context of an organizational structure defining functional roles and relationships.

Nowadays, advanced companies use BPMS/WfMS software systems for implementing the life cycle of their business processes, which consists of 4 stages: design, development, execution, monitoring. During this life cycle, the business analysts continuously improve the business processes by analysis and reengineering. That is why the analysis of performance characteristics of business processes plays an important role in reengineering of business processes, and BPMS/WfMS systems must provide corresponding tools of analysis.

There are three main approaches for analysis of business processes: formal analysis, simulation and monitoring. The advantage of formal analysis methods is that they allow to find and correct the process imperfections at design time. The imperfections, which are found at monitoring stage, lead to the waste of additional time and resources. Although the simulation is applied at design time, it may bring to exhaustion. Therefore, the development of effective algorithms based on formal analysis methods becomes very important nowadays.

Unfortunately, the existing modern software systems mainly offer simulation and monitoring tools. In this thesis, solutions to some problems of formal analysis are suggested, which provide an opportunity of using formal methods in software systems .

Problems of formal analysis are connected with the specific structure and semantics of business processes, e.g. existence of synchronization points, parallel branches, unstructured cycles etc. Even for processes, which do not contain the mentioned structures, the development of effective analysis algorithms remains a difficult task. Therefore, in the overwhelming majority of published research articles, the task has solved only for the processes with known probabilities of transitions and structured cycles. Only a few articles consider processes under unknown probabilities of transitions, but they are all constrained by consideration of acyclic processes. The mentioned probabilities are specified after execution stage; therefore, these methods are not applicable at design time.

In this thesis, the following solutions are suggested:

- A formal model of business processes, which include necessary constructs for analysis and evaluation, and corresponds with WfMC standards.
- A general method of effective analysis of cyclic processes, which is applicable to processes with parallel branches and unstructured cycles.
- Algorithms of performance characteristics analysis for business processes, which are applicable at design time, when the probabilities of process transitions are unknown.
- The software system of performance characteristics analysis for business process developed based on the suggested algorithms. The experiments on the system have confirmed the effectiveness and advantages of suggested methods.

The following aspects are provided in the thesis:

- The extension of IBM's MQSeries Workflow formal model of business processes.
- The method of equivalent transformation of business processes with unstructured cycles into processes with LOOP cycles.
- The method of extension of analysis algorithms, initially developed for acyclic processes, to cyclic business processes. The method is applicable to processes not only with known, but also with unknown probabilities of transitions.
- The method of determination of static and dynamic (depends on execution) time critical paths, which is based on the analysis of influences of parallel branches.
- The algorithms of determination of the key financial characteristics for business processes.
- The developed software system of analysis of business process characteristics, which is based on the suggested methods.

The main results are:

- The formal model of business processes IBM's MQSeries Workflow is extended with necessary constructs for analysis, in accordance with the WfMC standards. The extension allows easily implement the formal analysis results in software systems, which corresponds with the standards.
- The equivalent transformation method of business processes with unstructured cycles into processes with LOOP cycles is developed, which is applicable to all processes of the BIT library.
- A general method of characteristics analysis of processes with LOOP cycles is developed, which is applicable to processes not only with known, but also with unknown probabilities of transitions. The method allows to extend the analysis algorithms, initially developed for acyclic processes, to cyclic business processes, preserving the source complexity of algorithms.
- The method of determination of static and dynamic (depend on execution) time critical paths is developed, which is based on the analysis of influences of parallel branches. The class of processes with single-valued influences is defined, for which the task is solved completely.
- The key financial characteristics of business processes are defined and algorithms of their determination are developed.
- The software system of analysis of business process characteristics is developed, where the suggested algorithms are implemented.
- The algorithms are tested on BIT process library. The results are compared with the experimental results known modern system IBM WebSphere Business Modeler. The comparison confirms the effectiveness and the advantages of suggested algorithms.

