

ӘОЖ 378.147

ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІ ВИРТУАЛИЗАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМ СТУДЕНТТЕРІН КӘСІБИ ДАЯРЛАУ

Талипов Дастан Рустамұлы

магистрант, 7M01557- «Информатика» білім беру бағдарламасы,
Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Математика кафедрасы, , Түркістан,
Қазақстан, <https://orcid.org/0009-0008-2442-252X>

Ғылыми жетекшілер:

Кошанова Майра Данебековна, техника ғылымдарының кандидаты, Қожа
Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Математика
кафедрасының доценті, Түркістан қ., Қазақстан, <https://orcid.org/0000-0002-1377-4633>

Кошанова Гулназира Данебековна, педагогика ғылымдарының кандидаты,
Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Математика кафедрасының аға оқытушысы, Түркістан қ., Қазақстан,
<https://orcid.org/0000-0002-5990-1490>

Виртуализация – бұл бір физикалық компьютерде бірнеше операциялық жүйені бір уақытта іске қосу тәсілі. Виртуализацияны чиптегі ендірілген жүйелерден бастап, ірі деректер орталықтары мен бұлттық ортаға дейінгі кез келген құрылғыда жүзеге асыруға болады. Қарапайым көрінгенімен, виртуализация дәстүрлі аппараттық құралдар арқылы қол жеткізу қиын немесе мүлде мүмкін емес мүмкіндіктерді ашады. Осы тұрғыда, бұл мақалада виртуализация ұғымына шолу жасалып, оның қолдану салалары талданады және виртуализацияны компьютерлік ғылым курстарында оқытуда, сондай-ақ жан-жақты жабдықталған зертханаларда пайдалану жолдары қарастырылады. Бұл шолу оқытушыларға, зертхана әкімшілеріне, сондай-ақ операциялық жүйелер мен олардың қолданбаларын өз бетінше зерттейтін жоғары деңгейдегі студенттерге пайдалы болады деген үміт бар.

Кілт сөздері: виртуализация, деректер орталығы, бұлттық технология, компьютерлік ғылымды оқыту.

Кіріспе

Виртуализация – бұл бір физикалық компьютерде бірнеше виртуалды компьютерлік жүйелерді іске қосу тәсілі. Қазіргі уақытта виртуализация – негізгі процессор архитектуралары мен қажетті бағдарламалық қамтамасыз ету тарапынан қолдау табатын, толығымен жетілген технология. Ол өндірістік ортада ажырамас құралға айналған. Осы орайда, виртуализация компьютерлік ғылым (KF) саласындағы білім берудің де ажырамас бөлігіне айналуы тиіс. Виртуализация дәстүрлі аппараттық жұмыс тәсілдерінен тыс, қосымша артықшылықтар береді: бірнеше операциялық жүйені бір мезетте іске қосу, бағдарламаларды оңай орнату, тестілеу мен апаттан қалпына келтіру, инфрақұрылымды біріктіру және т.б.

Негізгі виртуализация технологияларына келсек, олар үш бағытта жүзеге асырылады (Kolyshkin, 2006): эмуляция, паравиртуализация және операциялық жүйе деңгейіндегі виртуализация. Эмуляция үлгісінде аппараттық платформаны қолдайтын операциялық жүйелер не процессор мүмкіндіктерін эмуляциялау арқылы, не хост жүйенің физикалық процессорына код жіберу арқылы іске қосылады. Алайда мұндай ортада өнімділік төмен болады. Паравиртуализация – хост пен қонақ операциялық жүйелер арасында орналасқан гипервизор (немесе монитор) арқылы жұмыс істейді. Эмуляциямен салыстырғанда өнімділігі жоғары болғанымен, паравиртуализация қонақ операциялық жүйелерде белгілі бір өзгерістерді қажет етеді. Ал операциялық жүйе деңгейіндегі виртуализация ядроны виртуализациялауға мүмкіндік береді және бір хост операциялық жүйесінде бірнеше оқшауланған орталарды қатар іске қосуға жағдай жасайды.

Барлық жағдайларда виртуализация "виртуалды контейнер" деп аталатын оқшауланған бағдарлама орындау ортасын ұсынады. Бұл ортада өз процестері бар және ол физикалық серверде қатар жұмыс істейтін басқа жүйелерден тәуелсіз. Мұндай мүмкіндік, мысалы, серверлерді біріктіру арқылы серверлік бөлмедегі ұйымдастыруды жақсартуға, физикалық серверлер мен олардың операциялық жүйелерінің санын азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, оқшауланған виртуалды орталар арқылы қауіпсіздікті едәуір арттыруға болады. Бұған қоса, орнатылған жүйелерді нақты уақыт режимінде көшіру, яғни «телепортация» жасау мүмкіндігі бар. Осылайша, операциялық жүйе деңгейіндегі виртуализацияда пайдаланушылар контейнермен байланысқан аппараттық құралдар мен желілік құрылғыларда толық әкімшілік құқықтарға ие болады. Бұл бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу мен тестілеуді айтарлықтай жеңілдетіп, компьютерлік ғылым студенттерін оқытуда маңызды рөл атқарады. Мұндай ортада әр студентке жеке виртуалды орта беруге болады және оны бірнеше минут ішінде қайта құруға, көшіруге немесе жоюға болады. Бұл дәстүрлі компьютерлік зертханалардағы жабдықтармен салыстырғанда әлдеқайда тиімді.

Алдағы бөлімдерде біз операциялық жүйе деңгейіндегі виртуализацияға назар аударамыз және келесідей терминологияны пайдаланамыз: Хост операциялық жүйесі (host) – бұл физикалық аппаратта жұмыс істейтін операциялық жүйе; қонақ операциялық жүйе (guest) – хост жүйесінде виртуалды түрде жұмыс істейтін операциялық жүйе; виртуалды машина (VM) – бұл ортақ ортада қонақ жүйені іске қосуға мүмкіндік беретін деректер мен метадеректер жинағы.

Компьютерлік ғылым бағдарламаларының оқу жоспары аясындағы көптеген пәндер операциялық жүйелерді виртуализациялау технологияларын зертханалық жұмыстарда, дәріс және тәжірибелік сабақтарда, үй тапсырмаларын орындауда тиімді пайдалана алады. Операциялық жүйе виртуализациясы келесі бағыттарда кеңінен қолданылуда: операциялық жүйелерді әкімшілендіру мен архитектурасын оқыту, қашықтан білім беру, білім беру инфрақұрылымын бұлтқа көшіру, энергияны үнемдейтін есептеулер, thin client технологиясын пайдалану, виртуализацияны цифрлық криминалистикада қолдану, желілік архитектура мен әкімшілендіруді оқыту. Дегенмен, бұл технология өзінің күрделілігіне және кең мүмкіндіктеріне байланысты жоғары білім беру саласында оқытушылар, зертхана әкімшілері мен студенттер үшін бірқатар қиындықтар туындатады.

Осыған байланысты бұл мақалада виртуализация және оның қолдану салаларына шолу жасалып, КҒ пәндерін оқыту мен зертханаларды виртуализациялау мүмкіндіктерін қарастыру мақсат етіледі. Бұл шолу оқытушыларға, зертхана әкімшілеріне және операциялық жүйелер мен олардың қолданбаларын өз бетінше меңгеріп жатқан жоғары деңгейдегі студенттерге пайдалы болады деген үміт бар.

Виртуализациядағы заманауи мүмкіндіктер

Қазіргі виртуализация технологияларының портативтілік, виртуалды машиналарды экспорттау және импорттау мүмкіндіктері, сондай-ақ жоғары жылдамдықтағы SSD-жинақтаушылардың қолжетімділігі виртуалды машиналарды бірнеше секунд ішінде жасауға, клондауға, көшіруге немесе жоюға мүмкіндік береді. Бұл виртуалды машиналардың күйін тармақталған динамикалық құрылым – яғни бұтақты күй-суреттер мен клондау негізінде сақтауға жол ашады.

Қонақтық кеңейтулер – қонақ операциялық жүйелерге енгізілетін өзгерістер болып табылады. Олар хост пен қонақ жүйелер арасында ортақ бумалармен алмасуға, графикалық интерфейсте терезелерді біріктіру (seamless windows), 3D графикалық жеделдетуге мүмкіндік береді.

Аппараттық қолдау бойынша қазіргі виртуализация шешімдері мынадай маңызды мүмкіндіктерді ұсынады:

- Қонақтық мультипроцессинг (SMP) – қонақ операциялық жүйелер физикалық процессордың ядроларына немесе ағындарына тікелей қол жеткізе алады;

- Физикалық USB құрылғыларын қонақ жүйеге автоматты түрде қосу;
- ACPI-дің толық қолдауы, яғни қонақ жүйелердің энергия үнемдеу режимдерін (CPU C-states), көпэкранды бейне параметрлерін, PXE желіден жүктеуді қолдануына мүмкіндік береді.

Виртуалды сақтау құрылғылары қазіргі виртуализацияда кеңінен қолдау табуда. Барлық танымал контроллерлер қонақ жүйелерге виртуалды түрде ұсынылады: IDE, SATA (AHCI), SCSI, SAS, USB MSD, NVMe. Виртуалды дискілік кескін файлдары (disk image) қонақ жүйелерде әдетті норма болып табылады. Қолдау көрсетілетін пішімдер: VDI, VMDK, VHD, HDD. Сонымен қатар, виртуалды сақтау жүйесі келесі мүмкіндіктермен толықтырылған: айырмашылығы бар кескіндер (differencing images), дискілік кескіндерді клондау, CD/DVD қолдауы.

Виртуалды желілік мүмкіндіктер бірнеше режимде желілік аппаратты виртуализациялау арқылы жүзеге асады:

- NAT (network address translation);
- Bridged networking – хосттың физикалық желілік интерфейсін қонақ жүйелермен бөлісуге арналған;
- Internal networking – тек қонақ жүйелер арасында жұмыс істейтін жабық желі;
- Host-only networking;
- UDP туннелдеу;
- Virtual Distributed Ethernet (VDE) және басқалар.

Виртуалды машиналарды қашықтан пайдалану бірқатар жетілдірілген функцияларды қамтиды:

- VRDP (Virtual Remote Desktop Protocol) қолдауы,
- дисплейсіз қонақ жүйелерді іске қосу (headless mode),
- қашықтан жұмыс үстелі серверлері,
- қашықтағы USB құрылғылармен жұмыс,
- RDP аутентификациясы мен шифрлеуі,
- VRDP серверіне көппайдаланушылық қол жеткізу,
- бірнеше қашықтан мониторды қолдау,
- бейне бағыттау (video redirection) және т.б.

Телепортация – бұл виртуалды машинаны желі арқылы бір физикалық хосттан екіншісіне, ол жұмыс істеп тұрған кезде көшіру процесі. Бұл мүмкіндік жоғары қолжетімділік талап етілетін серверлер үшін маңызды және операциялық жүйе деңгейіндегі виртуализацияның көптеген жетекші платформаларында қолдау табады.

Виртуалды машиналарды басқаруға арналған скрипт жазу – әкімшіге виртуалды ортаны басқаруды хост жүйенің командалық жолы арқылы жүзеге асыруға мүмкіндік береді: виртуалды машиналарды жасау, өзгерту, клондау, импорттау мен экспорттау, жұмыс барысында толық басқару, статистикалық деректерді жинау және талдау.

Басқа да жетілдірілген мүмкіндіктерге мыналар жатады:

- процессорды ыстық күйде ауыстыру (CPU hot-plugging),
- PCI passthrough,
- хосттың физикалық қатты дискісіне тікелей қол жеткізу,
- қонақ жүйенің физикалық iSCSI серверлеріне қосыла алуы.

Қауіпсіздік те едәуір жақсарды. Қонақ жүйелер оқшауланған және қорғалған ортада орындалады, RDP сессиялары мен виртуалды сақтау жүйелері шифрленеді.

Компьютерлік ғылымдар студенттерін оқытудағы операциялық жүйе виртуализациясы

Соңғы жылдары бірқатар авторлар операциялық жүйе виртуализациясының компьютерлік ғылымдар студенттерін оқытуда тиімділігін атап өтуде (әдебиеттер тізімін қараңыз). Gaspar және әріптестері (2008a, 2008b, 2008c) виртуализацияны қолданудың өткенін, қазіргі жағдайын және болашағын қарастырады. Agrawal және басқалар (2014) виртуализацияны жасыл есептеу (green computing) тұжырымдамасы ретінде thin client/server архитектурасында жүзеге асыруды сипаттайды. Сервер жағындағы виртуализация арқылы шоғырландыру жаңа технология болмаса да, соңғы жылдары жұмыс станциялары мен дербес компьютерлердің есептеу қуатының артуымен клиент (әсіресе үстелдік) жағындағы шоғырландыру туралы айтуға болады. Бұл — есептеу технологиясының даму заңдылығына айналды.

Sayler және басқалар (2014) қазіргі таңда студенттер компьютерлік зертханаға немесе информатика сабағына өз құрылғыларын – ноутбуктерін, планшеттерін және басқа да портативті құрылғыларын алып келетінін атап өтеді. Мұндай жағдайда аппараттық орта әртүрлі болады, бұл базалық курстарда біркелкі даму ортасын ұсынуда қиындық тудырады. Алайда виртуализация көмегімен бірнеше ғана жүйе әкімшілерінің көмегімен бірдей құралдар жиынтығын бүкіл студенттерге оңай орнатуға болады. Сондықтан виртуализация – “bring your own device” (BYOD – өз құрылғыңды әкел) тұжырымдамасын жүзеге асыруда маңызды құрал болып табылады, әсіресе бюджеттік шектеулері бар дамушы елдердегі оқу орындары үшін өте тиімді.

Есептеу бұлтты (cloud computing) — бұл салыстырмалы түрде жаңа технология, ол деректер мен қолданбаларға қол жеткізу үшін ғаламтор арқылы қашықтағы серверлерге қосылуға мүмкіндік береді (Bala, 2010). Бұлтты технология табиғатынан ресурстарды виртуализациялайды және соңғы пайдаланушылар үшін күрделі басқару мен қызмет көрсету үдерістерін

жасырады. Виртуалдық технологияларды пайдалану арқылы білім беру мекемесі:

1. Инфрақұрылым жеткізушіге айнала алады – қажет болған жағдайда қосымшалар мен операциялық жүйелерді іске қосу үшін инфрақұрылымды қызмет ретінде ұсынады (infrastructure as a service);

2. Платформа қызметтерін жеткізушіге айналады – қауіпсіздік деңгейі жоғары платформаларға шоғырланған қол жеткізуді қамтамасыз етеді (platform as a service);

3. Бағдарламалық жасақтама қызметтерін жеткізуші бола алады (software as a service).

Thin client – бұл пайдаланушы терминалы, ол қуаттырақ құрылғыларға (жұмыс станциясы немесе сервер) қосылып, олардың есептеу қуатын пайдалану үшін арналған. Мұндай тәсіл артық аппараттық құралдарды қайталаусыз жұмыс істеуге мүмкіндік береді, осылайша шығынды, жүйелік күрделілікті, энергия тұтынуды және әкімшілік жүктемені азайтады (Сімен және басқалар, 2014). Соңғы жылдары thin client және қуатты серверлерді операциялық жүйе виртуализациясымен бірге қолдану қызығушылық тудыруда. Сімен және әріптестері (2014) 270 терминал мен 9 серверден тұратын қоғамдық колледждегі конфигурацияны сипаттайды. Бұл архитектурада оқытушылар мен студенттер деректеріне әртүрлі орындардан қол жеткізе алады және әрқашан бірдей интерфейс пен баптауларды пайдаланады. Зерттеу нәтижесінде бұл тәсілдің басты артықшылығы – энергия тұтынудың аздығы екені анықталды: thin client толыққанды жұмыс станциясына қарағанда шамамен 10 есе аз энергия тұтынады. Осылайша, виртуализацияны кампуста қолдану тек иелену мен пайдалану құнын азайтпай, сонымен қатар экологиялық әсерін де төмендетеді. Сондықтан болашақта thin client және серверлік архитектура оқу орындарында кеңінен таралады деп күтілуде.

Операциялық жүйелер мен жүйелік әкімшілік негіздерін оқытуда виртуалды машиналарды қолдану Vollrath және Jenkins (2004) еңбектерінде қарастырылған. Бұл пәнді оқыту әр студентке жеке компьютер қажет ететіндіктен, шығынды болуы мүмкін. Сыртқы дискілерді пайдалану компьютерлер санын азайтуға мүмкіндік берсе де, Vollrath және Jenkins (2004) зерттеуінде виртуалды машиналар бірнеше жүйені бір физикалық құрылғыда іске қосуға мүмкіндік беру арқылы шығынды азайтуға көмектесетінін атап өтеді. Бұл тәсілдің кейбір шектеулері болса да, артықшылықтары басым екені айтылады. Сонымен қатар, виртуализация ортасын бағдарламалық түрде оңай қайталауға болады, бұл студенттердің виртуалды ортаны орнатуға емес, оны басқару мен курстың мазмұнына көбірек назар аударуына мүмкіндік береді.

Қорытынды

Виртуализация — бұл бір физикалық компьютерде бірнеше операциялық жүйені бір уақытта іске қосу әдісі. Ол қарапайым микрочиптерден бастап, ірі

деректер орталықтары мен бұлттық есептеу ортасына дейінгі кез келген құрылғыда жұмыс істей алады. Сырттай қарағанда оңай көрінгенімен, виртуализация дәстүрлі, виртуалданбаған аппараттық құралдарда қолжетімсіз немесе өте күрделі болатын мүмкіндіктерге жол ашады.

Виртуализация көптеген артықшылықтарды ұсынады: бөтен аппараттық қамтамасыз етуде бір мезгілде жұмыс істеу; операциялық жүйелер мен оған қатысты деректердің кескіндерін (image) желілік жүйелерде сақтау және оларды тасымалдау (телепортациялау); әзірлеушілердің виртуализация арқылы әртүрлі аппараттық құралдарды орнатпай-ақ қолданыстағы операциялық жүйелерді зерттеуге немесе оларды әзірлеуге мүмкіндік алуы; қазіргі есептеу қуаты виртуалды құрылғылармен нақты уақыт режимінде өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді — бұл тізім әрі қарай жалғаса береді. Қазіргі таңда виртуализация – негізгі процессор архитектуралары мен виртуализацияға арналған бағдарламалық қамтамасыз етуде кеңінен қолдау тапқан жетілген технология. Ол өндірістік ортада ажырамас бөлікке айналды. Осыған орай, компьютерлік виртуализация информатика (Computer Science) білімінің де ажырамас бөлігіне айналуы тиіс.

Алайда, виртуализацияның артықшылықтарымен бірге оны меңгеру міндеті де жүреді – бұл міндет болашақ компьютерлік ғылымдар мамандарын даярлайтын студенттер, жүйе әкімшілері мен жоғары оқу орындарының оқытушыларының мойнына жүктеледі. Бұл процестің сәтті болуы үшін көптеген ақпараттарды саралап, нақты оқу және зертханалық жұмыстар үшін оңтайлы платформаларды таңдауға тура келеді.

Бұл бөлімде біз виртуализация және оның қолдану аясын қысқаша шолып, оның компьютерлік ғылымдар пәндерін оқытудағы рөлін сипаттадық. Бұл шолу оқытушыларға, зертхана әкімшілеріне және операциялық жүйелер мен олардың қолданыстарын өз бетімен оқып-үйреніп жүрген жоғары деңгейдегі студенттерге пайдалы болады деп сенеміз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Agrawal, S., Biswas, R., & Nath, A. (2014). Virtual desktop infrastructure in higher education institution: Energy efficiency as an application of green computing. IEEE.
2. Alabbadi, M. M. (2011). Cloud computing for education and learning: Education and learning as a service (ELAAS). IEEE.
3. Alshwaier, A., Youssef, A., & Emam, A. (2012). A new trend for e-learning in KSA using educational clouds. *Advanced Computing*, 3(1), 81.
4. Cimen, C., Kavurucu, Y., & Aydin, H. (2014). Usage of thin-client-server architecture in computer aided education. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 13(2).

5. Dawson, M., DeWalt, B., & Cleveland, S. (2016). The case for Ubuntu Linux operating system performance and usability for use in higher education in a virtualized environment.

6. Hwang, W.-Y., Kongcharoen, C., & Ghinea, G. (2014). To enhance collaborative learning and practice network knowledge with a virtualization laboratory and online synchronous discussion. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15(4).

7. Kalagiakos, P., & Karampelas, P. (2011). Cloud computing learning. *IEEE*.

8. Xu, L., Huang, D., & Tsai, W.-T. (2014). Cloud-based virtual laboratory for network security education. *IEEE Transactions on Education*, 57(3), 145–150.

9. Zhao, H., Shi, L., & Zhu, S. (2017). Application of virtualization technology in computer experiments.

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК ПОСРЕДСТВОМ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.

Талипов Дастан Рустамұлы

Научные руководители: Кошанова Майра Данебековна,
Кошанова Гульназира Данебековна

Виртуализация — это способ одновременного запуска нескольких операционных систем на одном физическом компьютере. Виртуализацию можно реализовать на любых устройствах — от встроенных систем на чипе до крупных дата-центров и облачных сред. Несмотря на кажущуюся простоту, виртуализация открывает возможности, которые трудно или вовсе невозможно реализовать с помощью традиционного аппаратного обеспечения. В этом контексте в данной статье рассматривается понятие виртуализации, анализируются области её применения, а также обсуждаются способы использования виртуализации в преподавании курсов по компьютерным наукам и в полноценно оснащённых лабораториях. Этот обзор, как предполагается, будет полезен преподавателям, администраторам лабораторий, а также продвинутым студентам, самостоятельно изучающим операционные системы и их приложения.

Ключевые слова: Виртуализация, центр обработки данных, облачные технологии, обучение компьютерным наукам.

PROFESSIONAL TRAINING OF COMPUTER SCIENCE STUDENTS THROUGH OPERATING SYSTEM VIRTUALIZATION

Talipov Dastan Rustamuly

Scientific supervisors: Koshanova Maira Danebekovna,
Koshanova Gulnazira Danebekovna

Virtualization is a method of running multiple operating systems simultaneously on a single physical computer. It can be implemented on any device—from embedded systems on a chip to large data centers and cloud environments. Despite its apparent simplicity, virtualization enables capabilities that are difficult or even impossible to achieve with traditional hardware. In this context, this article reviews the concept of virtualization, analyzes its areas of application, and discusses ways to use virtualization in teaching computer science courses and in fully equipped laboratories. This overview is expected to be useful for educators, lab administrators, and advanced students independently studying operating systems and their applications.

Keywords: Virtualization, data center, cloud technologies, computer science education.

REFERENCES

1. Agrawal, S., Biswas, R., Nath, A. (2014). Virtual desktop infrastructure in higher education institution: Energy efficiency as an application of green computing. IEEE.
2. Alabbadi, M. M. (2011). Cloud computing for education and learning: Education and learning as a service (ELAAS). IEEE.
3. Alshwaier, A., Youssef, A., & Emam, A. (2012). A new trend for e-learning in KSA using educational clouds. Advanced Computing, 3(1), 81.
4. Cimen, C., Kavurucu, Y., & Aydin, H. (2014). Usage of thin-client-server architecture in computer aided education. TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology, 13(2).
5. Dawson, M., DeWalt, B., & Cleveland, S. (2016). The case for Ubuntu Linux operating system performance and usability for use in higher education in a virtualized environment.
6. Hwang, W.-Y., Kongcharoen, C., & Ghinea, G. (2014). To enhance collaborative learning and practice network knowledge with a virtualization laboratory and online synchronous discussion. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 15(4).
7. Kalagiakos, P., & Karampelas, P. (2011). Cloud computing learning. IEEE.
8. Xu, L., Huang, D., & Tsai, W.-T. (2014). Cloud-based virtual laboratory for network security education. IEEE Transactions on Education, 57(3), 145–150.
9. Zhao, H., Shi, L., & Zhu, S. (2017). Application of virtualization technology in computer experiments.