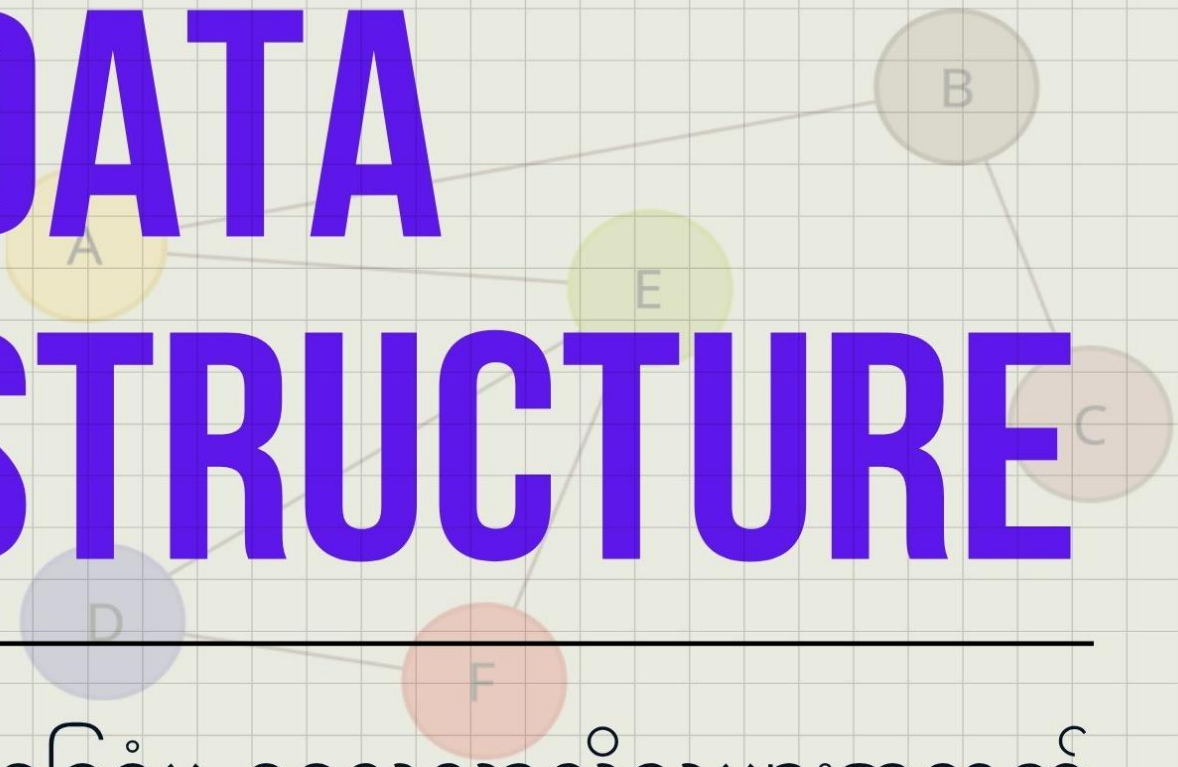
CODE with Thura

လွယ်ကူလေ့လာ

DATA STRUCTURE



အခြေခံမှ စလေ့လာလိုသူများအတွက်

CODE WITH THURA

လွယ်ကူလေ့လာ

Data Structure

အခြေခံမှ စ,လိုသူများအတွက် လက်စွဲ

Thura (Code with Thura)

လွယ်ကူလေ့လာ Data Structure

Translated Edition of “Absolute Beginner’s Guide to Algorithms” (Part 1)

By Kirupa Chinnathambi

Translated and Adapted by: Thura (Code with Thura)

Year: 2025

မာတိကာ

အမှာစာ

Data Structure ဆိုတဲ့ စကားလုံးကို ခပ်တည့်တည့် ဘာသာပြန်ရမယ်ဆိုရင် 'ဒေတာဖွဲ့စည်းပုံ'လို့ပဲ ပြောရပါလိမ့်မယ်။ ဒေတာတွေကို သိမ်းဆည်းဖို့အတွက် ဘယ်လိုပုံစံ၊ ဘယ်လိုနည်းလမ်းတွေ အသုံးပြုမလဲဆိုတဲ့ သဘောတရားတွေကို ဆိုလိုတာပါ။ ဒီဒေတာဖွဲ့စည်းပုံတွေကို ကျွန်တော်တို့ သိပ်မရင်းနှီးပေမဲ့၊ နေ့စဉ် ထိတွေ့နေရတဲ့ နည်းပညာတွေရဲ့ နောက်ကွယ်မှာတော့ မပါမဖြစ် ပါဝင်နေပါတယ်။ အင်တာနက်ရှာဖွေမှုတွေ၊ လူမှုကွန်ရက်တွေ၊ ဂိမ်းတွေနဲ့ အက်ပ်ပလီကေးရှင်းတွေရဲ့ နောက်ကွယ်မှာ မရှိမဖြစ် နေရာယူထားပါတယ်။ ပွင့်ပွင့်လင်းလင်းပြောရရင် ဒေတာအချက်အလက်တွေနဲ့ အလုပ်လုပ်နေသမျှ ကျွန်တော်တို့တွေဟာ ဒေတာဖွဲ့စည်းပုံတွေနဲ့ ကင်းလွှတ်နိုင်မှာ မဟုတ်ပါဘူး။ ဒါကြောင့်ပဲ ဒီစာအုပ်ကို မြန်မာလို ဘာသာပြန်ဖော်ပြဖို့ ဆုံးဖြတ်ခဲ့တာပါ။

Kirupa Chinnathambi ရဲ့ "Absolute Beginner's Guide to Algorithms" ဟာ ကျွန်တော်တွေ့ဖူးသမျှ စာအုပ်တွေထဲမှာ Beginner တွေအတွက် အသင့်တော်ဆုံး စာအုပ်တစ်အုပ်ပါ။ အဲဒီစာအုပ်မှာ Data Structure တွေရဲ့ အခြေခံ သဘောတရားတွေကို JavaScript အသုံးပြုပြီး လက်တွေ့ကျကျနဲ့ စိတ်ဝင်စားစရာကောင်းအောင် ရှင်းပြထားပါတယ်။ Kirupa က Google မှာ Product Manager အဖြစ် လုပ်ကိုင်နေသူတစ်ဦးပါ။ သူ့ရဲ့မူရင်းစာအုပ်မှာ စုစုပေါင်း ၂၆ ခန်းပါဝင်ပြီး၊ အပိုင်း ၂ ပိုင်း ခွဲရေးထားပါတယ်။ ပထမအပိုင်းက Data Structure တွေအကြောင်း ဖြစ်ပြီး၊ ဒုတိယအပိုင်းကတော့ Algorithm တွေအကြောင်းပါ။ ပထမအပိုင်းရဲ့ အခန်းတစ်ခန်းချင်းစီကို ကျွန်တော်ရဲ့ 'Code with Thura' ပေ့ခ်ျမှာ အပတ်စဉ် ဘာသာပြန် ဖော်ပြခဲ့ဖူးပါတယ်။ ဒီစာအုပ်ဟာ အဲ့ဒီဆောင်းပါးတွေကို စုစည်းပြီး ပြန်လည် ပြင်ဆင် ထုတ်ဝေခဲ့တာပါ။ ဒါကြောင့် ဒီစာအုပ်မှာ မူရင်းစာအုပ်ရဲ့ ပထမအပိုင်းသာ ပါဝင်မှာဖြစ်ပါတယ်။

ဘာသာပြန်ဆိုနေစဉ်အတွင်းမှာ ကျွန်တော်ဟာ စာကြောင်း တစ်ကြောင်းစီတိုင်းကို အသင့်တော်ဆုံးနဲ့ အနီးစပ်ဆုံး ဖြစ်အောင် ဘာသာပြန်ဆိုခဲ့ပါတယ်။ မြန်မာစာဖတ်သူတွေအတွက် သဘာဝကျပြီး ဆက်စပ်မှုရှိတယ်လို့ ခံစားရစေဖို့ အသုံးအနှုန်းတွေ၊ ဥပမာတွေနဲ့ ယဉ်ကျေးမှုဆိုင်ရာ အကိုးအကားတွေကို အနည်းငယ် ပြောင်းလဲခဲ့ပါတယ်။ နမူနာပုံတွေကိုလည်း အချိန်ပေးပြီး သေသေချာချာ ပြန်လည်ပြင်ဆွဲခဲ့ပါတယ်။ ကျွန်တော့်ရဲ့ ရည်ရွယ်ချက်ကတော့ Kirupa ရဲ့ အာဘော်နဲ့ ဟာသဉာဏ်ကို အထိုက်အလျောက် ထိန်းသိမ်းထားရင်း ဖတ်ရှုလေ့လာသူတွေအတွက် အကြောင်းအရာတွေကို အဆက်စပ်မိ နားလည်လာအောင် ရေးသားပေးဖို့ ဖြစ်ပါတယ်။

ဒီစာအုပ်မှာ Data Structure တွေ ဘယ်လိုအလုပ်လုပ်လဲဆိုတာကို သဘောတရားတင်မကဘဲ၊ လက်တွေ့ကျကျ လေ့ကျင့်နိုင်တဲ့ Code နမူနာတွေနဲ့ပါ ရှင်းလင်းဖော်ပြထားပါတယ်။ ဒါကြောင့် သဘောတရားတွေကို နားလည်ရုံသာမက လက်တွေ့အသုံးချနိုင်တဲ့ အရည်အချင်းတွေပါ ရရှိနိုင်မှာ သေချာပါတယ်။ မြန်မာနိုင်ငံမှာရှိတဲ့ Software Developer တွေ၊ နည်းပညာကျောင်းသားတွေနဲ့ အိုင်တီပိုင်းဆိုင်ရာ လေ့လာသူတွေအတွက်လဲ တစ်စုံတရာ အကျိုးရှိလာမယ်လို့ မျှော်လင့်ပါတယ်။

လေ့လာသူ အားလုံး အဆင်ပြေကြပါစေ။

သူရစိုး

ဇွန်လ ၂၀၂၅

မူရင်းစာရေးသူအကြောင်း

- Kirupa Chinnathambi သည် Google တွင် Product Manager အဖြစ် လုပ်ကိုင်နေသူတစ်ဦးဖြစ်ပြီး လက်ရှိတွင် Firebase Studio အား ဦးဆောင်နေသူတစ်ဦးဖြစ်သည်။
- နာမည်ကြီး Resource Learning Platform တစ်ခုဖြစ်သော KIRUPA ဝဘ်ဆိုဒ်ကို တည်ထောင်ခဲ့ပြီး Learning React အပါအဝင် စာအုပ်များစွာကို ရေးသားခဲ့သည်။
- MIT မှ ကွန်ပျူတာသိပ္ပံဘွဲ့ (B.S. in Computer Science) ရရှိထားသူ ဖြစ်သည်။

ဘာသာပြန်သူအကြောင်း

- ပညာရေးနယ်ပယ်နှင့် နည်းပညာလုပ်ငန်း နယ်ပယ်နှစ်ခုလုံးတွင် လုပ်ကိုင်နေသော IT အင်ဂျင်နီယာ တစ်ဦးဖြစ်သည်။
- နည်းပညာတက္ကသိုလ် (မန္တလေး) ၌ IT အင်ဂျင်နီယာဘာသာရပ်ကို အထူးပြုသင်ယူခဲ့ပြီး ၂၀၁၇ ခုနှစ် နောက်ပိုင်းတွင် Development နယ်ပယ်သို့ စတင်ဝင်ရောက်ခဲ့သည်။
- လုပ်ငန်းအတွေ့အကြုံ လေးနှစ်ကျော်ရှိခဲ့ပြီးနောက် 'Code with Thura' ကို စတင်တည်ထောင်ခဲ့သည်။
- လက်ရှိတွင် နည်းပညာနယ်ပယ်၌ Researcher တစ်ဦးအဖြစ် ပါဝင်ဆောင်ရွက်လျက်ရှိပြီး Development Project များနှင့် သင်ကြားရေးလုပ်ငန်းများကို လုပ်ကိုင်လျက်ရှိသည်။

ဆက်သွယ်လိုပါက thura.00011@gmail.com သို့လည်းကောင်း၊ 'Code with Thura' ၏ တရားဝင် ဝက်ဘ်ဆိုဒ် စာမျက်နှာဖြစ်သည့် https://www.codewiththura.com/contact သို့လည်းကောင်း ဝင်ရောက် ဆက်သွယ် မေးမြန်းနိုင်ပါသည်။

ဤစာအုပ်ကို ခွင့်ပြုချက်မရှိဘဲ ရောင်းချခြင်း မပြုရ။

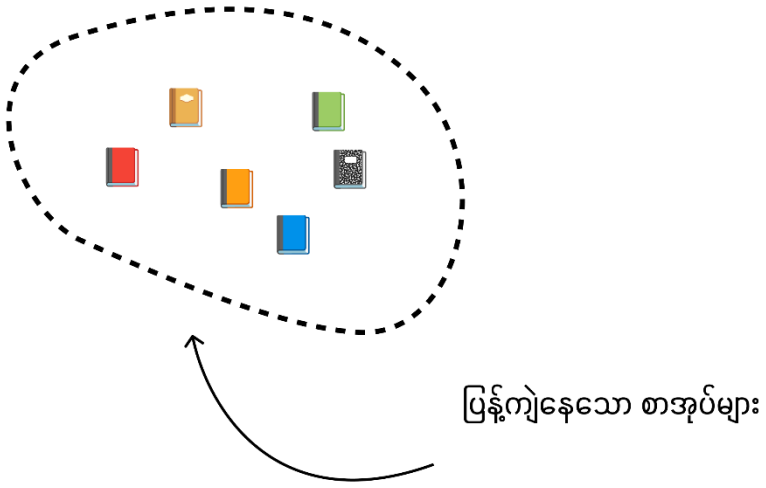

CODE
with Thura

အခန်း (၁) - Data Structure

Data Structure မိတ်ဆက်

Programming ဆိုတာ Data အချက်အလက်တွေကို လိုအပ်သလို ပြင်ဆင်ပြောင်းလဲနိုင်ဖို့ ကွန်ပျူတာကို ညွှန်ကြားပေးရတဲ့ လုပ်ငန်းစဉ်တစ်ခုလို့ အကြမ်းဖျင်း မှတ်ယူလို့ရပါတယ်။ အဲဒီလို လိုအပ်ချက်ပေါ်မူတည်ပြီး Data တွေကို အသက်သာဆုံးနဲ့ ထိထိရောက်ရောက် ပြင်ဆင်ပြောင်းလဲ သိမ်းဆည်းပေးနိုင်ဖို့ Data Structure သဘောတရားတွေကို အသုံးပြုရပါတယ်။

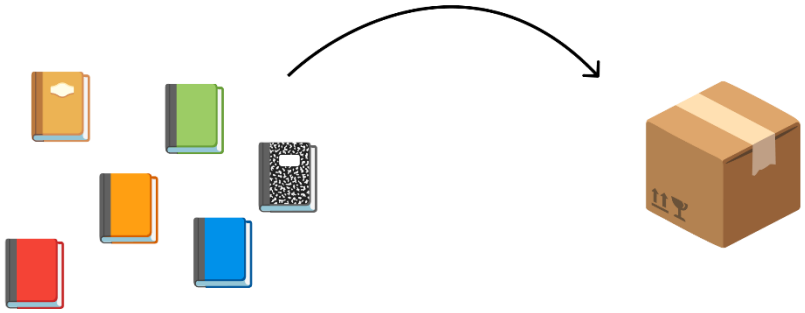
Data Structure ရဲ့ သဘောတရားကို နားလည်ဖို့အတွက် နမူနာတစ်ခုကို စဉ်းစားကြည့်ပါမယ်။ (ပုံ ၁-၁)။ ဆိုပါစို့၊ ကျွန်တော်တို့ဆီမှာ စာအုပ်တွေ အများကြီးရှိမယ်။ ဝတ္ထုတို၊ ဝတ္ထုရှည်၊ ဘာသာပြန်၊ ပုံနှိပ်စာအုပ် စသည်ဖြင့် ပါဝင်ပါမယ်။ လက်ရှိမှာ စာအုပ်တွေက နေရာအနှံ့ ပြန့်ကျဲနေမယ်၊ အဲဒီအတွက် စာအုပ်တွေကို တစ်နေရာတည်းမှာ သိမ်းဆည်းထားနိုင်ဖို့ စီစဉ်ပါမယ်။



ပုံ ၁-၁၊ စာအုပ်တွေကို တစ်နေရာတည်းမှာ သိမ်းဆည်းပါမယ်

ပထမဆုံးအနေနဲ့ သေတ္တာတစ်လုံးကို အသုံးပြုပါမယ်။ စာအုပ်တွေအားလုံးကို သေတ္တာထဲမှာ စုပြုံပြီး ပစ်ထည့်၊ သိမ်းဆည်းထားလိုက်ပါမယ် (ပုံ ၁-၂ ကိုကြည့်ပါ)။ လတ်တလောမှာ အဆင်ပြေသွားပေမယ့်

တချို့ချို့နဲ့မှာ သေတ္တာထဲက စာအုပ်တစ်အုပ်ကို ပြန်ရှာလိုတဲ့အခါ အခက်တွေ့ပါမယ်။ ကျွန်တော်တို့ လိုချင်တဲ့စာအုပ်ကို မွေနှောက်ပြီး ရှာဖွေရတော့မှာဖြစ်ပါတယ်။ တကယ်လို့ အဲဒီစာအုပ်ဟာ သေတ္တာရဲ့ အောက်ဆုံးမှာ ရောက်နေရင်တော့ ပိုပြီးခက်ခက်ခဲခဲ ရှာဖွေရတော့မှာပါ။ ကျွန်တော်တို့အတွက် အချိန်ပိုကုန်စေပါတယ်။ ဒီနည်းလမ်းဟာ သိပ်တော့အဆင်မပြေလှပါဘူး။



ပုံ ၁-၂။ သေတ္တာထဲမှာ စုပြုံပြီး ထည့်လိုက်ပါမယ်

ဒီတော့ စာအုပ်တွေကို သိမ်းဆည်းဖို့အတွက် တခြားနည်းလမ်းတစ်ခုကို စဉ်းစားကြည့်ပါမယ်။ စာအုပ်တွေကို စာအုပ်စင်လေးပေါ်မှာ စာအုပ်အမျိုးအစားအလိုက် အကန့်ခွဲပြီး သိမ်းဆည်းပါမယ်။ ကနဦး စစချင်းမှာတော့ စာအုပ်တွေကို အမျိုးအစားအလိုက် တစ်အုပ်ချင်း နေရာချရတာဖြစ်လို့ အချိန်ကုန်၊ လူပင်ပန်းစေနိုင်ပါတယ်။ ဒါပေမယ့် နောင်တစ်ချိန်မှာ လိုချင်တဲ့ စာအုပ်ကို စာအုပ်အမျိုးအစားအလိုက် အလွယ်တကူ ပြန်ရှာလို့ရသွားစေမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ သေတ္တာထဲမှာ သိမ်းဆည်းသလိုမျိုး မတွေ့မချင်း မွေနှောက်ရှာဖွေဖို့ မလိုအပ်တော့ပါဘူး။ ကျွန်တော်တို့အတွက် အချိန်ကုန်သက်သာစေမှာဖြစ်ပါတယ်။

အပေါ်မှာဖော်ပြခဲ့တဲ့ နည်းလမ်း ၂ ခုကို နှိုင်းယှဉ်သုံးသပ်ကြည့်ပါမယ်။

<u>သေတ္တာထဲမှာ စုပုံသိမ်းဆည်းခြင်း</u>

၁။ စာအုပ်အသစ်တွေကို ထပ်ပြီးပေါင်းထည့်ဖို့လိုအပ်လာတဲ့အခါ အင်မတန် လွယ်ကူပါတယ်။ သေတ္တာထဲမှာ ဒီတိုင်း ပစ်ထည့်လိုက်ရုံပါပဲ။ ထွေထွေထူးထူး လုပ်ဆောင်စရာမရှိပါဘူး။

၂။ စာအုပ်တွေကို ပြန်ရှာလိုတဲ့အခါ အချိန်တစ်ခုပေးရပါမယ်။ အပေါ်ဆုံးမှာ ရောက်နေတဲ့ စာအုပ်တွေဆိုရင် လွယ်လွယ်ကူကူ ရှာတွေ့နိုင်ပေမယ့် အောက်ဆုံးမှာ ရောက်နေတဲ့ စာအုပ်တွေဆိုရင်တော့ ပြန်ရှာတဲ့အခါ အချိန်ကုန်စေနိုင်ပါတယ်။

၃။ မလိုအပ်တော့တဲ့ စာအုပ်တွေကို ဖယ်ထုတ်ချင်တဲ့အခါမှာလည်း အချိန်ပေးရပါမယ်။ စာအုပ်တွေကို ပြန်ရှာသလိုပါပဲ၊ အပေါ်ဆုံးမှာရှိနေတဲ့ စာအုပ်တွေဆိုရင် လွယ်လွယ်ကူကူ ဖယ်ထုတ်နိုင်ပေမယ့် အောက်ဆုံးမှာ ရောက်နေတဲ့ စာအုပ်တွေဆိုရင်တော့ ပြန်ထုတ်ဖို့အတွက် လုံလောက်တဲ့အချိန်တစ်ခု ပေးရမှာဖြစ်ပါတယ်။

<u>စင်ပေါ်မှာ အမျိုးအစားလိုက် သိမ်းဆည်းခြင်း</u>

၁။ စာအုပ်အသစ်တွေကို ထပ်ပြီးပေါင်းထည့်ဖို့ လိုအပ်လာတဲ့အခါ အချိန်တစ်ခုပေးရပါမယ်။ စာအုပ် အမျိုးအစားအလိုက် သိမ်းဆည်းထားတာဖြစ်လို့ အမျိုးအစားအလိုက် သက်ဆိုင်ရာနေရာမှာ သိမ်းဆည်းပေးရမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ အချိန်တစ်ခုကြာနိုင်ပါတယ်။

၂။ စာအုပ်တွေကို ပြန်ရှာလိုတဲ့အခါ လွယ်ကူ မြန်ဆန်ပါမယ်။ စာအုပ်အမျိုးအစားအလိုက် သက်ဆိုင်ရာ နေရာမှာ ရှာဖွေလိုက်ရုံပါပဲ။

၃။ မလိုအပ်တော့တဲ့ စာအုပ်တွေကို ဖယ်ထုတ်ချင်တဲ့အခါမှာလည်း လွယ်ကူမြန်ဆန်ပါမယ်။ စာအုပ်တွေကို ပြန်ရှာသလိုမျိုး စာအုပ်အမျိုးအစားအလိုက် သက်ဆိုင်ရာနေရာကနေ ရှာပြီး ဖယ်ထုတ်လိုက်ရုံပါပဲ။

ကျွန်တော်တို့ အပေါ်မှာ ဆွေးနွေးခဲ့တဲ့အတိုင်းပါပဲ၊ စာအုပ်တွေကို သိမ်းဆည်းတဲ့ နည်းလမ်း (၂) မျိုးလုံးမှာ သူ့ရဲ့ ကောင်းကျိုး၊ ဆိုးကျိုးတွေ ရှိပါတယ်။ ဘယ်နည်းလမ်းကို ရွေးချယ်မလဲဆိုတာက ကိုယ်ဘယ်လို အသုံးပြုမလဲဆိုတဲ့ အပေါ်မှာ မူတည်ပါတယ်။ ဥပမာ၊ စာအုပ်တွေကို မကြာခဏ ပြန်မရှာဘူးဆိုရင် သေတ္တာထဲ ထည့်သိမ်းတာက အသင့်တော်ဆုံးပါ။ ဒါပေမဲ့ မကြာခဏ ပြန်ထုတ်ဖတ်ဖို့ လိုအပ်မယ်ဆိုရင်တော့ စာအုပ်စင်ပေါ်မှာ တင်ထားတာက ပိုပြီး အဆင်ပြေပါတယ်။ ဒီလိုပဲ၊ ကိုယ့်ရဲ့ အခြေအနေနဲ့ လိုအပ်ချက်ပေါ် မူတည်ပြီး သင့်တော်တဲ့ နည်းလမ်းကို ရွေးချယ်အသုံးပြုရမှာ ဖြစ်ပါတယ်။

ဒီအချက်က ကွန်ပျူတာ ပရိုဂရမ်တွေ ရေးသားတဲ့အခါမှာလည်း အတူတူပါပဲ။ ပရိုဂရမ်ရဲ့ လိုအပ်ချက်ပေါ်မူတည်ပြီး မှန်ကန်တဲ့ Data Structure တွေကို ရွေးချယ်နိုင်ဖို့က အလွန်အရေးကြီးပါတယ်။ စာအုပ်သေတ္တာနဲ့ စာအုပ်စင် ဥပမာအတိုင်းပါပဲ၊ Data Structure တိုင်းမှာလည်း သူတို့ရဲ့ ကောင်းတဲ့အချက်တွေနဲ့ မကောင်းတဲ့အချက်တွေ ရှိကြပါတယ်။ ဘယ်အချိန်၊ ဘယ်နေရာမှာ ဘယ် Data Structure ကို အသုံးပြုသင့်တယ်ဆိုတာကို ဆုံးဖြတ်နိုင်ဖို့က Developer တစ်ယောက်မှာ မရှိမဖြစ် ရှိထားရမယ့် စွမ်းရည်တစ်ခုပဲ ဖြစ်ပါတယ်။

အသုံးများတဲ့ Data Structure တွေကို ဖော်ပြပေးပါမယ်။ Array, Linked List, Stack, Queue, Tree, Binary Tree, Binary Search Tree, Heap, Hash-Table (Hash-map သို့ Dictionary), Trie တို့ဖြစ်ပါတယ်။

နောက်လာမယ့် အခန်းတွေမှာ ဒီ Data Structure တစ်ခုချင်းစီကို ပိုပြီး အသေးစိတ် လေ့လာသွားပါမယ်။ ဘယ်လို အခြေအနေမျိုးတွေမှာ ဘယ် Data Structure ကို သုံးသင့်တယ်၊ ဘယ်လို အခြေအနေမှာ အကောင်းဆုံးနဲ့ အသင့်တော်ဆုံးဖြစ်မလဲ စတာတွေကိုလည်း အသေးစိတ် ဆက်လက်ဆွေးနွေးသွားမှာ ဖြစ်ပါတယ်။

အခန်း (၂) - Big O Complexity

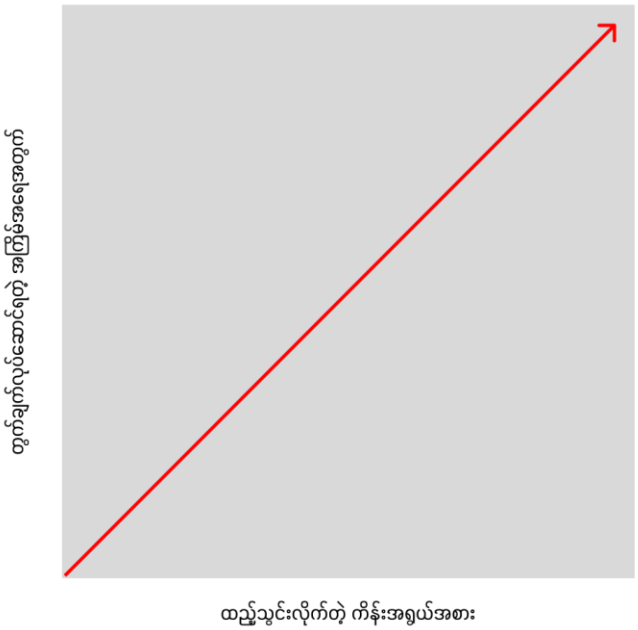
ကုဒ်တွေရဲ့ စွမ်းဆောင်ရည်ကို သုံးသပ်တဲ့အခါ ထည့်သွင်းစဉ်းစားရမယ့် အချက် ၂ ချက်ရှိပါတယ်။ Time Complexity (အချိန် ကန့်သတ်ဘောင်) နဲ့ Space Complexity (နေရာ ကန့်သတ်ဘောင်) ပါ။ လွယ်လွယ်ပြောရရင် Time Complexity ဆိုတာ ကုဒ်ကိုတွက်ချက်ဖို့ အချိန် ဘယ်လောက်ယူရသလဲကို ရည်ညွှန်းတာဖြစ်ပြီး၊ Space Complexity ကတော့ Memory ထပ်ဆောင်း ဘယ်လောက်များများ လိုအပ်သလဲဆိုတာကို ရည်ညွှန်းပါတယ်။ တိတိကျကျပြောရရင်တော့ Time Complexity ဆိုတာ ထည့်ပေးလိုက်တဲ့ Data အရွယ်အစားပေါ်မူတည်ပြီး Algorithm ရဲ့ တွက်ချက်ဖို့ လိုအပ်မယ့် အချိန်ပမာဏဖြစ်ပါတယ်။ အလားတူစွာပဲ၊ Space Complexity ဆိုတာ ထည့်ပေးလိုက်တဲ့ Data အရွယ်အစားပေါ်မူတည်ပြီး Algorithm ရဲ့ တွက်ချက်ဖို့ လိုအပ်မယ့် Memory ပမာဏဖြစ်ပါတယ်။

ကျွန်တော်တို့ဟာ ရေးသားထားတဲ့ကုဒ်တွေကို တတ်နိုင်သမျှ Memory ပမာဏ အနည်းဆုံးနဲ့မြန်မြန်ဆန်ဆန် အလုပ်လုပ်ဖို့သာ လိုချင်ကြတာဖြစ်ပါတယ်။ ဒါပေမယ့် လက်တွေ့မှာ ကျွန်တော်တို့ရဲ့ကုဒ်တွေဟာ ထည့်ပေးလိုက်ရတဲ့ Input Size တနည်းအားဖြင့် Data ပမာဏ၊ သွင်ပြင်လက္ခဏာပေါ်မူတည်ပြီး အလုပ်လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်းကွာခြားသွားပါတယ်။ Input ပမာဏတစ်စုံအတွက် ကုဒ်ရဲ့ Performance (စွမ်းဆောင်ရည်) ကို ကိုယ်ပိုင်နာရီတစ်လုံးစီနဲ့ သီးခြား တိုင်းတာလို့ရနိုင်ပေမဲ့၊ တကယ်တမ်း Input ပမာဏအားလုံးအတွက် ယေဘုယျကျကျ ဆုံးဖြတ်ပေးနိုင်မယ့် တိုင်းတာမှုမျိုး လိုအပ်ပါတယ်။ ဒီနေရာမှာ Big-O ပါဝင်လာရပါပြီ။

နမူနာကြည့်ရအောင်ပါ။ ကျွန်တော်တို့ရေးသားထားတဲ့ကုဒ်၊ တနည်းအားဖြင့် Function တစ်ခု သို့မဟုတ် Algorithm တစ်ခုက ကိန်းတစ်ခုကို Input အဖြစ် ရယူပြီး Digit (ဂဏန်း) ဘယ်နှစ်လုံးပါဝင်သလဲ တွက်ထုတ်ပေးနိုင်မယ်ဆိုပါစို့။ အကယ်၍ အဲဒီထဲကို 3415 ဆိုတဲ့ကိန်းကို ထည့်ပေးလိုက်ရင် ဂဏန်းအရေအတွက်က 4 လုံး ရရှိမှာပါ။ (ပုံ ၂-၁ ကို ကြည့်ပါ။)

ပုံ ၂-၁၊ ကိန်းမှာ ဂဏန်း (Digit) ဘယ်နှစ်လုံးပါဝင်သလဲ တွက်ထုတ်ခြင်း

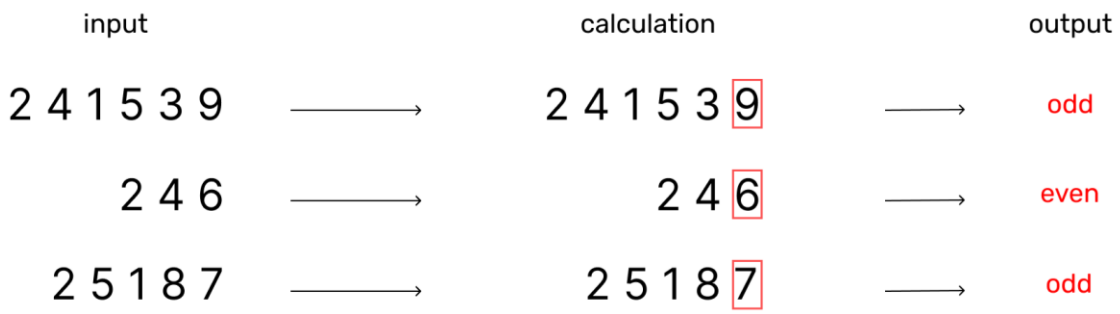
ထည့်သွင်းလိုက်တဲ့ကိန်းက 241,539 ဖြစ်ခဲ့ရင် ဂဏာန်းအရေအတွက်ဟာ 6 လုံး ရရှိမှာပါ။ ဒီသဘောတရားကို လေ့လာလိုက်ရင် တွက်ချက်ပေးရတဲ့ အကြိမ်အရေအတွက်ဟာ ထည့်သွင်းလိုက်တဲ့ ကိန်းပမာဏနဲ့ တိုက်ရိုက်သက်ဆိုင်နေတာကို တွေ့ရမှာဖြစ်ပါတယ်။ ကိန်းပမာဏ အရွယ်အစားပေါ်လိုက်ပြီး ဂဏာန်းအရေအတွက်ကို တွက်ထုတ်ရတာဖြစ်ပါတယ်။ တနည်းအားဖြင့် ကိန်းတန်ဖိုး ကြီးလာလေ၊ တွက်ချက်လုပ်ဆောင်ရတဲ့ အကြိမ်ရေ ပိုများလာလေဖြစ်ပါတယ်။ ထည့်သွင်းလိုက်တဲ့ ကိန်းအရွယ်အစားနဲ့ တွက်ချက်လုပ်ဆောင်ရတဲ့ အကြိမ်အရေအတွက်ကို ဂရပ်တစ်ခုအဖြစ် ရေးဆွဲလိုက်ရင် Linear Growth (မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ၄၅ ဒီဂရီထောင်တတ်သွားတဲ့ပုံစံ) ကိုမြင်တွေ့ရမှာဖြစ်ပါတယ်။ (ပုံ ၂-၂ ကို ကြည့်ပါ။)



ပုံ ၂-၂။ Linear Growth မှာ တွက်ချက်ရတဲ့အကြိမ်အရေတွက်ဟာ ထည့်သွင်းလိုက်တဲ့ကိန်းပမာဏနဲ့ တိုက်ရိုက်သက်ဆိုင်ပါတယ်

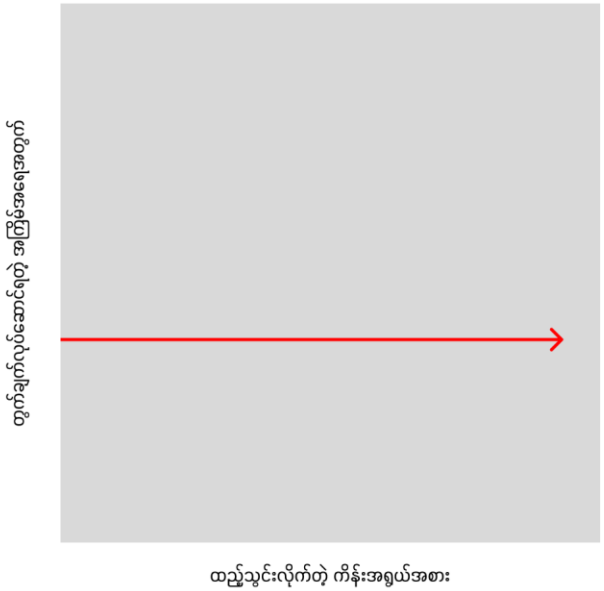
နောက်ထပ် နမူနာကုဒ်တစ်ခုကို ထပ်စဉ်းစားပါမယ်။ ကျွန်တော်တို့ရဲ့ကုဒ်က ကိန်းတစ်ခုကို Input အဖြစ် ရယူပြီး စုံကိန်း၊ မကိန်း ခွဲခြားပေးနိုင်တယ်ဆိုပါစို့။ ကိန်းတစ်ခုဟာ စုံကိန်းဟုတ်မဟုတ်၊ မကိန်းဟုတ်မဟုတ် ခွဲခြားနိုင်ဖို့ လုပ်ရမယ့်အလုပ်က အဲဒီကိန်းရဲ့ Last Digit (နောက်ဆုံး ဂဏာန်း) ကို ကြည့်ပြီး တွက်ချက်မှုအနည်းငယ် ပြုလုပ်လိုက်ရုံပါပဲ။ (ပုံ ၂-၃ ကိုကြည့်ပါ။)

ဒီနေရာမှာဆိုရင် ထည့်ပေးလိုက်တဲ့ကိန်းက ဘယ်လောက်ကြီးတယ်ဆိုတာ အရေးမပါတော့ပါဘူး။ ကျွန်တော်တို့လုပ်ရတဲ့ အလုပ်က ကိန်းရဲ့ Last Digit လေးကိုပဲ စစ်ဆေးပြီး တွက်ချက်ဆုံးဖြတ်လို့ရနိုင်ပါတယ်။ တွက်ချက်မှုဟာ ကိန်းရဲ့အရွယ်အစားပေါ် မမူတည်တော့ပါဘူး။



ပုံ ၂-၃၊ ကိန်းကို စုံကိန်း၊ မကိန်း ခွဲခြား တွက်ထုတ်ခြင်း

ဆိုတော့ ဒီတွက်ချက်မှုဟာ မပြောင်းလဲတဲ့တွက်ချက်မှုအကြိမ်အရေတွက် လိုအပ်တယ်လို့ မှတ်ယူနိုင်ပါတယ်။ ဂရပ်တစ်ခုအဖြစ် ရေးဆွဲလိုက်ရင် အလျားလိုက် ရေပြင်ညီ မျဉ်းဖြောင့်တစ်ခုကို မြင်တွေ့ရမှာဖြစ်ပါတယ်။ (ပုံ ၂-၄)။



ပုံ ၂-၄၊ တွက်ချက်ရတဲ့အကြိမ်အရေတွက်ဟာ တသမတ်တည်း မပြောင်းမလဲဖြစ်နေပါတယ်

Big-O သင်္ကေတ မိတ်ဆက်

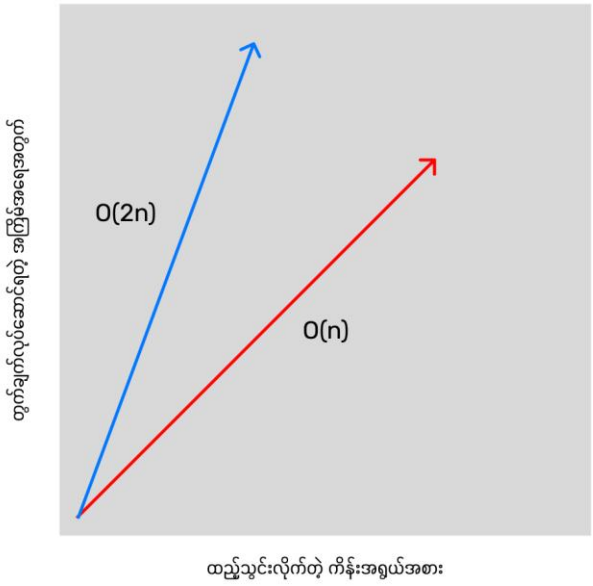
Big-O သင်္ကေတဆိုတာ မတူညီတဲ့ Input Size တွေအတွက် Upper Bound သို့ Worst-Case Scenario လို့ခေါ်တဲ့ အဆိုးဆုံးအခြေအနေမှာ ကုဒ်တွေဟာ ဘယ်လောက်အထိ တွက်ချက်နေရာယူရသလဲဆိုတာ ဖော်ပြပေးနိုင်တဲ့ သင်္ချာနည်းဆိုင်ရာ ဖော်ပြချက် ဖြစ်ပါတယ်။ Big-O သင်္ကေတဟာ Algorithm ရဲ့ Performance ကို သက်ရောက်နိုင်မယ့် တကယ်အရေးပါတဲ့ Factor (အကြောင်းတရား) တွေပေါ်မှာပဲ တွက်ချက်ထားတာဖြစ်ပါတယ်။ Big-O သင်္ကေတကို စလေ့လာချင်းမှာ နားလည်ဖို့ ခက်ခဲတယ်လို့ ထင်ကောင်းထင်နိုင်ပါတယ်။ အတွေ့များ၊ အသုံးများလာတဲ့အခါ ရင်းနှီးကျွမ်းဝင်လာပါလိမ့်မယ်။

အပေါ်မှာ ပြောခဲ့တဲ့ Linear Growth အခြေအနေကို ဖော်ပြမယ့် Big O သင်္ကေတဟာ $O(n)$ ဖြစ်ပါတယ်။ Constant Growth ကို ဖော်ပြမယ့် သင်္ကေတက $O(1)$ ဖြစ်ပါတယ်။ Big-O ရဲ့ O ကို “Order of” လို့ခေါ်ပါတယ်။ Algorithm ရဲ့ Growth Rate ကို ရည်ညွှန်းပါတယ်။ တွက်ချက်ဖို့ ဘယ်လောက် အချိန်ကြာနိုင်သလဲ၊ Memory ဘယ်လောက်ယူသလဲ စသည်ဖြင့်ပါ။ n က တနည်းအားဖြင့် Argument ပါ၊ အဆိုးဆုံးအခြေအနေမှာ တွက်ချက်လုပ်ဆောင်ရမယ့် အကြိမ်အရေအတွက်ကို ကိုယ်စားပြုပါတယ်။

ဥပမာ၊ Big-O သင်္ကေတ $O(n)$ ဖြစ်တယ်ဆိုရင် ဆိုလိုတာက ကျွန်တော်တို့ကုဒ်ရဲ့ Time သို့မဟုတ် Space လိုအပ်ချက်ဟာ Input အရွယ်အစားပေါ်မူတည်ပြီး Linear Growth (မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ထောင်တက်သွားတယ်)လို့ ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ Input Size သာ နှစ်ဆတိုးသွားခဲ့ရင် Time သို့ Space လိုအပ်ချက်ဟာလည်း နှစ်ဆတိုးသွားမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ အဲ့ဒီလိုပဲ Big-O သင်္ကေတက $O(n^2)$ ဖြစ်တယ်ဆိုရင် Algorithm ရဲ့ Time သို့မဟုတ် Space လိုအပ်ချက်ဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး နှစ်ထပ်ကိန်း တန်ဖိုးတိုးတိုးလာမှာဖြစ်ပါတယ်။ Input Size နှစ်ဆတိုးသွားခဲ့ရင် Time သို့ Space လိုအပ်ချက်ဟာ လေးဆတိုးသွားမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ တကယ်တော့ နှစ်ထပ်ကိန်းတန်ဖိုး တိုးသွားတာဟာ အဆိုးဝါးဆုံး အခြေအနေ မဟုတ်သေးပါဘူး။ ပိုပြီး ဆိုးဝါးတဲ့ အခြေအနေတွေ ရှိပါသေးတယ်။

အပေါ်မှာ ပြောခဲ့သလို Big-O သင်္ကေတဟာ Algorithm ရဲ့ Performance ကို သက်ရောက်နိုင်မယ့် တကယ်တမ်း အရေးပါတဲ့ Factor တွေပေါ်မှာပဲ တွက်ချက်ထားတာဖြစ်ပါတယ်။ ဥပမာအနေနဲ့ Linear Case ကို ကြည့်မယ်ဆိုရင် n အတွက် ထပ်ပေါင်းတန်ဖိုးက $O(2n)$ ဖြစ်နေသည်ဖြစ်စေ၊ $O(n+5)$ ဖြစ်နေသည်ဖြစ်စေ၊ ဒါမှမဟုတ် $O(4n-n/2)$ ဖြစ်နေသည်ဖြစ်စေ အရေးမကြီးပါဘူး။ တကယ်တမ်း $O(n)$ အနေနဲ့ပဲ အရိုးရှင်းဆုံး ယူဆသွားမှာပါ။ နမူနာ ဂရပ် ပုံ ၂-၅ မှာ ကြည့်ပါ။ $O(2n)$ က $O(n)$ ထက် အလုပ်ပိုလုပ်ရမယ်လို့ ထင်ရပေမဲ့ Input Size အရမ်းကြီးမားလာတဲ့အခါ ဒီခြားနားမှုဟာ ထည့်သွင်းစဉ်းစားဖို့ မလိုသလောက်၊ တနည်းအားဖြင့် အရေးမပါသလောက် ဖြစ်သွားမှာဖြစ်ပါတယ်။ ကျွန်တော်တို့ ကြားဖူးနေကြ စကားတစ်ခုရှိပါတယ်။

“အသေးအမွှားကိစ္စတွေကို ခေါင်းစားမနေနဲ့၊ အရေးပါတဲ့ အရာတွေကိုပဲ အာရုံစိုက်ပါ” ဆိုတဲ့အတိုင်း Big-O ကလဲ အလားတူ ပြုမူတာပဲ ဖြစ်ပါတယ်။



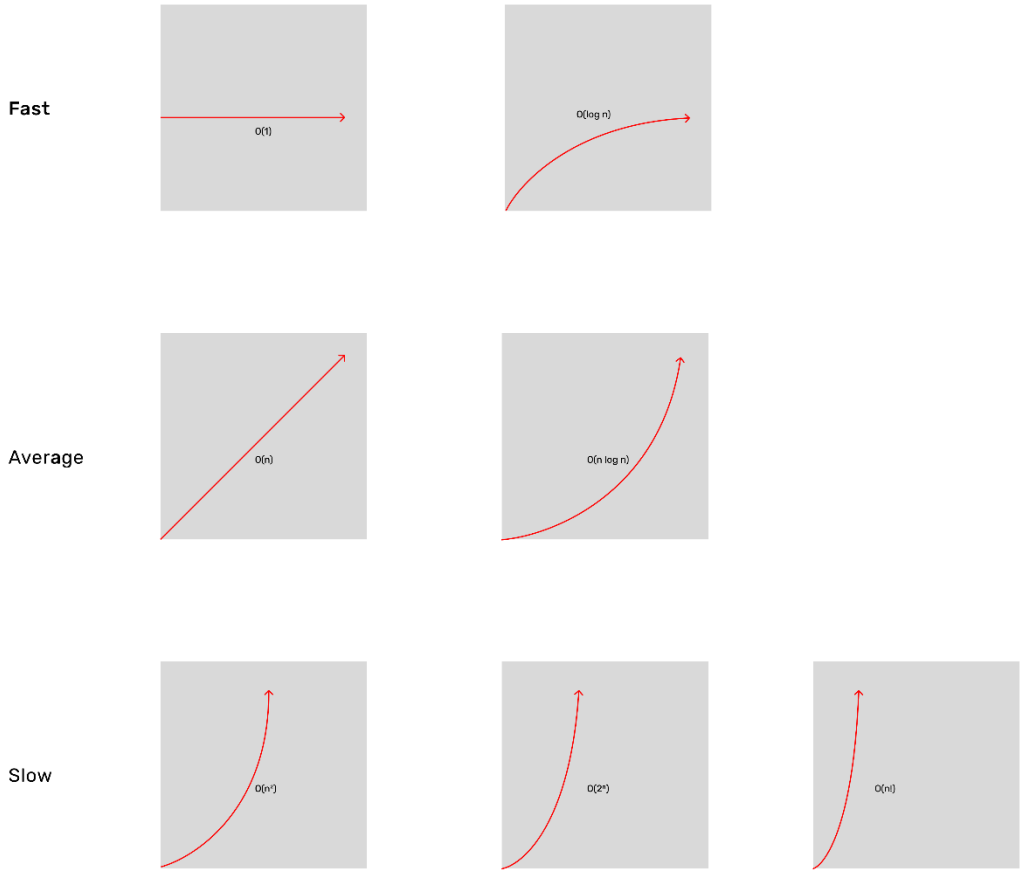
ပုံ ၂-၅၊ O(2n) vs O(n)

Big-O သင်္ကေတတွေနဲ့ သူတို့ရဲ့ အဓိပ္ပာယ်ကို ဖော်ပြပေးပါမယ်။

O(1) – Constant Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့မဟုတ် Space ဟာ ကိန်းသေပမာဏအဖြစ် မပြောင်းမလဲရှိနေမှာကိုဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ ဆိုလိုတာက Input Size ဘယ်လောက်ပဲကြီးလာပါစေ တွက်ချက်ရတဲ့ Complexity က မပြောင်းလဲဘဲ တစ်သမတ်တည်း ရှိနေမှာဖြစ်ပါတယ်။ ဥပမာ၊ Array ရဲ့ Element တစ်ခုကို Index ထောက်ပြီး ခေါ်ယူတဲ့အခြေအနေမျိုးတွေ၊ အပေါ်မှာဖော်ပြခဲ့တဲ့ စုံကိန်း၊ မကိန်း တွက်ချက်တဲ့အခြေအနေတွေဖြစ်ပါတယ်။

O(log n) – Logarithmic Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့မဟုတ် Space ဟာ သေးငယ်တဲ့ပမာဏလောက်သာ ပြောင်းလဲသွားမှာကိုဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ ဆိုလိုတာက Input Size နှစ်ဆတိုးသွားရင် တွက်ချက်ရတဲ့အကြိမ်အရေအတွက် Complexity က အနည်းငယ်လောက်သာ တိုးလာမှာဖြစ်ပါတယ်။ ဥပမာ၊ Binary Search လိုမျိုးဖြစ်ပါတယ်။

O(n) – Linear Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့မဟုတ် Space ဟာ Linear Growth မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ထောင်တတ်ပြောင်းလဲသွားမှာကို ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ ဆိုလိုတာက Input Size နှစ်ဆတိုးသွားရင် တွက်ချက်ရတဲ့အကြိမ်အရေအတွက် Complexity ကလည်း နှစ်ဆတိုက်ရိုက်တိုးလာမှာဖြစ်ပါတယ်။ ဥပမာ၊ Array တစ်ခုပေါ်မှာ Iterating လုပ်တဲ့အခါမျိုးတွေဖြစ်ပါတယ်။



ပုံ ၂-၆၊ Big O Notation Graph များ

O(n log n) - Linearithmic Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့ Space ဟာ Linear Growth Rate ထက် အနည်းငယ် ပိုမြန်ပြီး ပြောင်းလဲသွားမှာကို ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ Merge-sort တို့၊ Quick-sort တို့လို Sorting Algorithm တွေမှာ တွေ့ရတတ်ပါတယ်။

$O(n^2)$ - Quadratic Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့ Space ဟာ နှစ်ထပ်ကိန်းတန်ဖိုး တိုးတိုးလာမှာကို ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ Bubble-sort တို့၊ Selection Sort တို့လို Algorithm တွေမှာ တွေ့ရတတ်ပါတယ်။

$O(2^n)$ - Exponential Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့ Space ဟာ ထပ်ကိန်းတန်ဖိုး တိုးတိုးလာမှာကို ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ ဒီအခြေအနေဟာ ပုံမှန်အားဖြင့် အဆိုးဝါးဆုံး Inefficient မဖြစ်တဲ့အခြေအနေအဖြစ် မှတ်ယူနိုင်ပါတယ်။

$O(n!)$ - Factorial Complexity: ဒီသင်္ကေတဟာ Input Size ပေါ်မူတည်ပြီး Time သို့ Space ဟာ Factorial တန်ဖိုး တိုးတိုးလာမှာကို ဆိုလိုတာဖြစ်ပါတယ်။ Input Size နှစ်ဆတိုးသွားခဲ့ရင် Time သို့ Space လိုအပ်ချက်ဟာ ကြောက်ခမန်းလိလိ တိုးလာမှာ ဖြစ်ပါတယ်။ ဒါဟာ အဆိုးဝါးဆုံးအခြေအနေလို့ မှတ်ယူလို့ရပါတယ်။

အခန်း (၃) – Array များ

ဒေတာဖွဲ့စည်းပုံတွေကို လေ့လာတဲ့အခါမှာ အခြေခံအကျဆုံးဖြစ်တဲ့ Array ကို စတင်လေ့လာကြရပါမယ်။ Array တွေဟာ တခြားဒေတာဖွဲ့စည်းပုံတွေမှာ ထည့်သွင်း အသုံးပြုကြတဲ့အထိ အရေးပါတဲ့ အခန်းကဏ္ဍမှာ ရှိပါတယ်။ အခန်း ၁ မှာ တင်ပြခဲ့တဲ့ စာအုပ်သေတ္တာ ဥပမာကို ပြန်စဉ်းစားကြည့်ပါ။ Array ရဲ့ ဖွဲ့စည်းပုံကို အဲဒီသေတ္တာထဲက အခန်းငယ်လေးတွေအဖြစ် မြင်ယောင်ကြည့်လို့ရပါတယ်။

ဒီအခန်းမှာ Array ဆိုတာဘာလဲ၊ ဘာကြောင့် ဒီလောက်လူသုံးများရတာလဲ၊ ဘယ်လို အခြေအနေတွေမှာ သုံးသင့်တာလဲ စသည်ဖြင့် အသေးစိတ် လေ့လာသွားပါမယ်။

Array ဆိုတာဘာလဲ

စာရွက်တစ်ရွက်ပေါ်မှာ “စျေးဝယ်စာရင်း” တစ်ခုကို ရေးကြည့်ပါ။ ဝယ်ယူရမယ့် ပစ္စည်းတွေကို သုညကနေ စပြီး အစဉ်လိုက် နံပါတ်တပ်ထားတဲ့ စာရင်းပုံစံမျိုးပါ။ (ပုံ ၃-၁)။

1. Bread
2. Butter
3. Pasta
4. Tomatoes

ပုံ ၃-၁၊ စျေးဝယ်စာရင်း

ဒီစျေးဝယ်စာရင်းကို ဒစ်ဂျစ်တယ်ပုံစံနဲ့ ဖော်ပြဖို့ဆိုရင် Array တွေကို အသုံးပြုရပါမယ်။ Array ဆိုတာ ဒေတာတွေကို နံပါတ်စဉ်အလိုက် သိမ်းဆည်းဖို့ တည်ဆောက်ထားတဲ့ ဒေတာဖွဲ့စည်းပုံတစ်ခုပါ။ နမူနာ စျေးဝယ်စာရင်းကို Array အဖြစ် ပြောင်းလဲလိုက်ရင် ပုံ ၃-၂ မှာ ပြထားတဲ့အတိုင်း ဖြစ်သွားပါလိမ့်မယ်။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

ပယ်ဖျက်ခြင်း (Deletion)

Array ရဲ့ အစ (ပထမအခန်း) မှာရှိတဲ့ Item တစ်ခုကို ပယ်ဖျက်လိုက်တဲ့အခါ၊ အဲဒီလွတ်သွားတဲ့ နေရာကို ပြန်ဖြည့်ဖို့ ရှိနေပြီးသား Item အားလုံးကို ရွှေ့ပြောင်းပေးရပါတယ်။ ဒါကြောင့် ဒီလုပ်ငန်းစဉ်ရဲ့ Time Complexity က O(n) ဖြစ်ပါတယ်။ n က Array ထဲမှာရှိတဲ့ Item အရေအတွက်ပါ။

Array ရဲ့ အဆုံးကနေ Item တစ်ခုကို ဖျက်တာက အထိရောက်ဆုံး၊ အမြန်ဆုံးဖြစ်ပြီး O(1) နဲ့ လုပ်ဆောင်နိုင်ပါတယ်။

Array ထဲက Index တစ်ခုခုမှာ ရှိနေတဲ့ Item တစ်ခုကို ပယ်ဖျက်တာကလဲ သူ့ရဲ့နောက်အခန်းမှာ ရှိနေတဲ့ Item အားလုံးကို နေရာလွတ်ဖြည့်ဖို့ ရွှေ့ပြောင်းရပါတယ်။ ဒါကြောင့် ဒီလုပ်ငန်းစဉ်ရဲ့ Time Complexity က O(n) ဖြစ်ပါတယ်။ n က Array ထဲမှာရှိတဲ့ Item အရေအတွက်ပါ။

ရှာဖွေခြင်း (Searching)

Array ပေါ်မှာ ရှာဖွေနိုင်တဲ့ နည်းလမ်းနှစ်မျိုးရှိပါတယ်။

Linear Search (အစဉ်လိုက် ရှာဖွေခြင်း): အစီအစဉ်တကျ စီထားခြင်းမရှိတဲ့ Unsorted Array ထဲက Item တစ်ခုကို ရှာဖွေတဲ့အခါ၊ လိုချင်တဲ့ Item ကို ရှာမတွေ့မချင်း ဒါမှမဟုတ် Array ရဲ့ အဆုံးကို မရောက်မချင်း Item တစ်ခုချင်းစီကို လိုက်စစ်ကြည့်ရပါတယ်။ အဆိုးဆုံး အခြေအနေမှာဆိုရင် ဒီလုပ်ငန်းစဉ်ရဲ့ Time Complexity က O(n) ဖြစ်ပါတယ်။ n က Array ထဲမှာရှိတဲ့ Item အရေအတွက်ပါ။

Binary Search (နှစ်ပိုင်းခွဲ ရှာဖွေခြင်း): အစီအစဉ်တကျ စီထားတဲ့ Sorted Array ထဲက Item တစ်ခုကို ရှာဖွေတဲ့အခါ Binary Search ကို သုံးပြီး ရှာဖွေမယ့် နေရာတွေကို တစ်ဝက်စီ အပိုင်းပိုင်းပြီး ရှာဖွေသွားနိုင်ပါတယ်။ ဒီလုပ်ငန်းစဉ်ရဲ့ Time Complexity က O(logn) ဖြစ်ပါတယ်။ n က Array ထဲမှာရှိတဲ့ Item အရေအတွက်ပါ။ ဒီနေရာမှာ သတိထားရမှာက Binary Search ကို အသုံးပြုဖို့ဆိုရင် အစီအစဉ်တကျ စီထားတဲ့ Array ဖြစ်ဖို့ လိုအပ်ပါတယ်။ ဒါကြောင့် Array က အစီအစဉ်တကျ စီထားခြင်းမရှိဘူးဆိုရင်၊ Item တွေကို စီစဉ်ပေးမယ့် Sorting Operation လိုအပ်နိုင်ပြီး Time Complexity ပိုမြင့်လာနိုင်ပါတယ်။

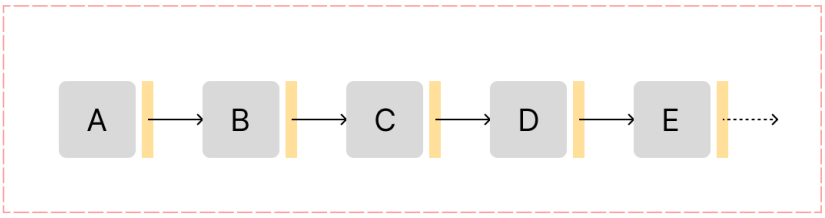
ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

အခန်း (၄) - Linked List များ

မကြာခဏ ပြောင်းလဲနေနိုင်တဲ့ ဒေတာအချက်အလက်တွေ ကိုင်တွယ်ဖြေရှင်းတဲ့အခါ Linked List တွေကို အသုံးပြုနိုင်ပါတယ်။ အခြား Data Structure တွေနဲ့ မတူတာက Linked List မှာ အချက်အလက်တစ်ခုစီကို Node လို့ခေါ်တဲ့ အရာလေးတွေနဲ့ ချိတ်ဆက်ထားတာပါ။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရထားတွဲတွေလို တစ်ခုနဲ့တစ်ခု ဆက်စပ်နေတယ်လို့ ပြောလို့ရပါတယ်။ ဒီအခန်းမှာ Linked List တွေရဲ့ အခြေခံဖွဲ့စည်းပုံ၊ ယေဘုယျလက္ခဏာတွေကို အသေးစိတ်လေ့လာသွားပါမယ်။

Linked List ကို စတင် ထိတွေ့ခြင်း

Linked List တွေကို Array တွေနည်းတူ ဒေတာအစုအဝေးတွေ သိမ်းဆည်းဖို့အတွက် အသုံးပြုနိုင်ပါတယ်။ ပုံ ၄-၁ မှာ ဆိုရင် A ကနေ E အထိ စကားလုံးတွေကို သိမ်းဆည်းထားတဲ့ Linked List တစ်ခုရဲ့ ဥပမာကို တွေ့ရမှာပါ။



ပုံ ၄-၁၊ Linked List

Linked List တွေက တစ်ခုနဲ့တစ်ခု ချိတ်ဆက်ထားတဲ့ Node တွေကို အခြေခံပြီး အလုပ်လုပ်ပါတယ်။

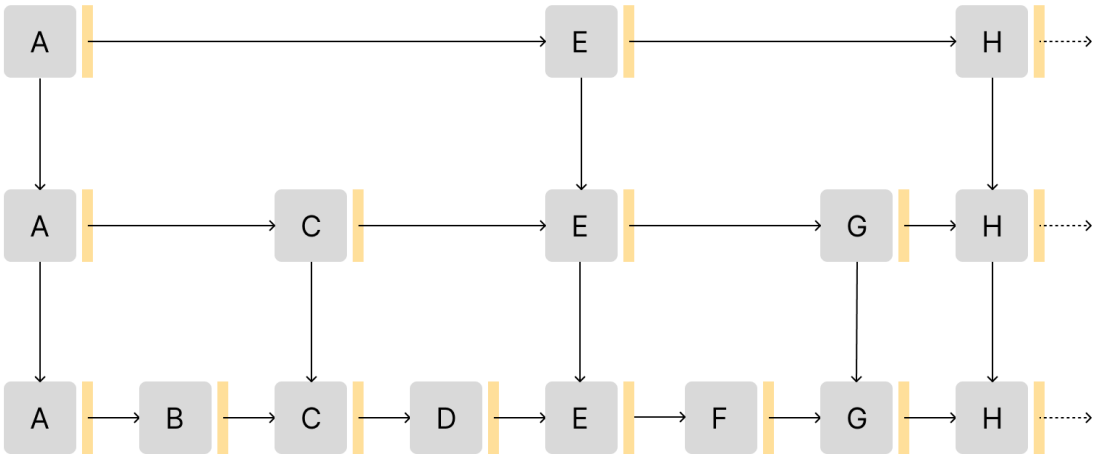
Node တစ်ခုစီမှာ အပိုင်း ၂ ပိုင်းပါဝင်ပါတယ်။

- သိမ်းဆည်းထားတဲ့ ဒေတာ၊
- နောက် Node တစ်ခုကို ညွှန်ပြတဲ့ Next Pointer (တနည်းအားဖြင့် Reference) တို့ဖြစ်ပါတယ်။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

Skip List

Skip list တွေက Linked List တွေထက် ပိုမြန်ပါတယ်။ Skip List ဆိုတာ Linked List မှာ “Skip” Link တွေ ထပ်ပေါင်း ပါဝင်လာတာမျိုးပါ။ ဒီ Skip Links တွေက Shortcut တွေလိုမျိုး အလုပ်လုပ်ပြီး List ထဲက ဒေတာအချက်အလက်တွေဆီ ပိုမြန်မြန် ရောက်အောင်၊ ရှာနိုင်အောင် လုပ်ဆောင်ပေးပါတယ်။ (ပုံ ၄-၁၀)။



ပုံ ၄-၁၀၊ Skip List

Skip List ရဲ့ Level တစ်ခုစီတိုင်းက တချို့ Element တွေအတွက် ပိုပြီး ထိထိရောက်ရောက် ရှာနိုင်စေပါတယ်။ ရှာနေတဲ့ ဒေတာအချက်အလက်ပေါ် မူတည်ပြီး၊ List ထဲမှာ အလျားလိုက် ဒါမှမဟုတ် အပေါ်အောက် ဖြတ်သန်းသွားလာနိုင်တဲ့အတွက် ရှာဖွေရတာ ပိုမြန်စေတာပါ။ Skip List တွေကို ပမာဏကြီးမားတဲ့ Dataset တွေအတွက် မကြာမဏ ရှာဖွေမှုလုပ်ဖို့ လိုအပ်တဲ့အခါ အသုံးများပါတယ်။

Linked List အတွက် နမူနာကုဒ်ကို အောက်မှာဖော်ပြထားပါတယ်။

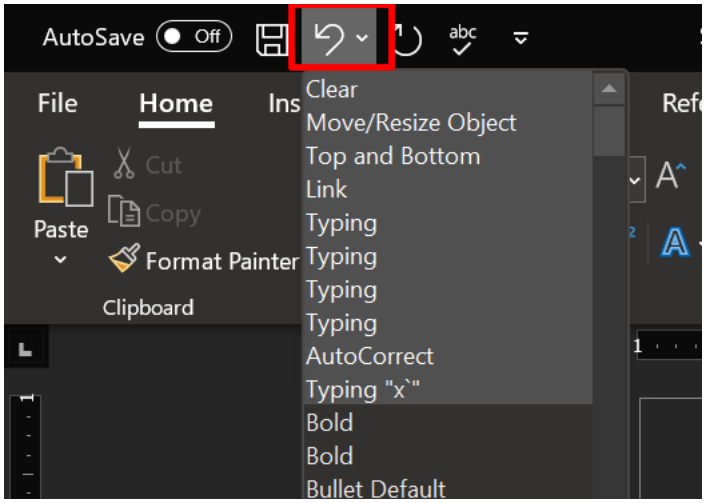
```
class LinkedListNode {
  constructor(data, next = null) {
    this.data = data;
    this.next = next;
  }
}

class LinkedList {
  constructor() {
```

```
    this.head = null;
    this.tail = null;
    this.size = 0;
  }

  addFirst(data) {
    const newNode = new LinkedListNode(data, this.head);
    this.head = newNode;
    if (!this.tail) {
      this.tail = newNode;
    }
    this.size++;
  }

  addLast(data) {
    const newNode = new LinkedListNode(data);
    if (!this.head) {
      this.head = newNode;
      this.tail = newNode;
    } else {
      this.tail.next = newNode;
      this.tail = newNode;
    }
    this.size++;
  }

  addBefore(beforeData, data) {
    const newNode = new LinkedListNode(data);
    if (this.size === 0) {
      this.head = newNode;
      this.size++;
      return;
    }
    if (this.head.data === beforeData) {
      newNode.next = this.head;
      this.head = newNode;
      this.size++;
      return;
    }
    let current = this.head.next;
    let prev = this.head;
    while (current) {
      if (current.data === beforeData) {
        newNode.next = current;
        prev.next = newNode;
```

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

အခန်း (၅) - Stack များ

ကွန်ပျူတာစာရိုက်နေစဉ်မှာ တစ်ခုခုကို Undo (ပြန်ဖျက်) သို့မဟုတ် Redo (ပြန်လုပ်ခြင်း) လုပ်ဖူးပါသလား။ (ပုံ ၅-၁)။ ဒါမှမဟုတ် Browser မှာ ရှေ့နောက် အပြန်အလှန် သွားလာကြည့်ရှုဖူးပါသလား။



ပုံ(၅-၁)။ Undo (ပြန်ဖျက်) သို့မဟုတ် Redo (ပြန်လုပ်ခြင်း)

ကျွန်တော်တို့ ရေးသားလိုက်တဲ့အရာတွေကို အဆင့်ဆင့် မှတ်သားထားနိုင်ဖို့ ကွန်ပျူတာက ဘယ်လို လုပ်ဆောင်ရသလဲဆိုတာ စဉ်းစားကြည့်ဖူးပါသလား။

အထက်ပါမေးခွန်းတွေထဲက တစ်ခုခုကို 'ဟုတ်ကဲ့' လို့ဖြေခဲ့မယ်ဆိုရင်၊ မိတ်ဆွေဟာ ဒီသင်ခန်းစာရဲ့ အဓိကဇောတ်ကောင် ဖြစ်တဲ့ Stack (စတက်ခ်) ဒေတာဖွဲ့စည်းပုံကို တွေ့ကြုံခဲ့ဖူးပါပြီ။ ဒီအခန်းမှာ Stack အကြောင်းကို လေ့လာကြပါမယ်။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

Time and Space Complexity

Queue မှာ အသုံးများဆုံး Operation တွေရဲ့ Performace ကို ဇယား ၆-၁ မှာ ချုံ့ဖော်ပြထားပါတယ်။

ဇယား ၆-၁

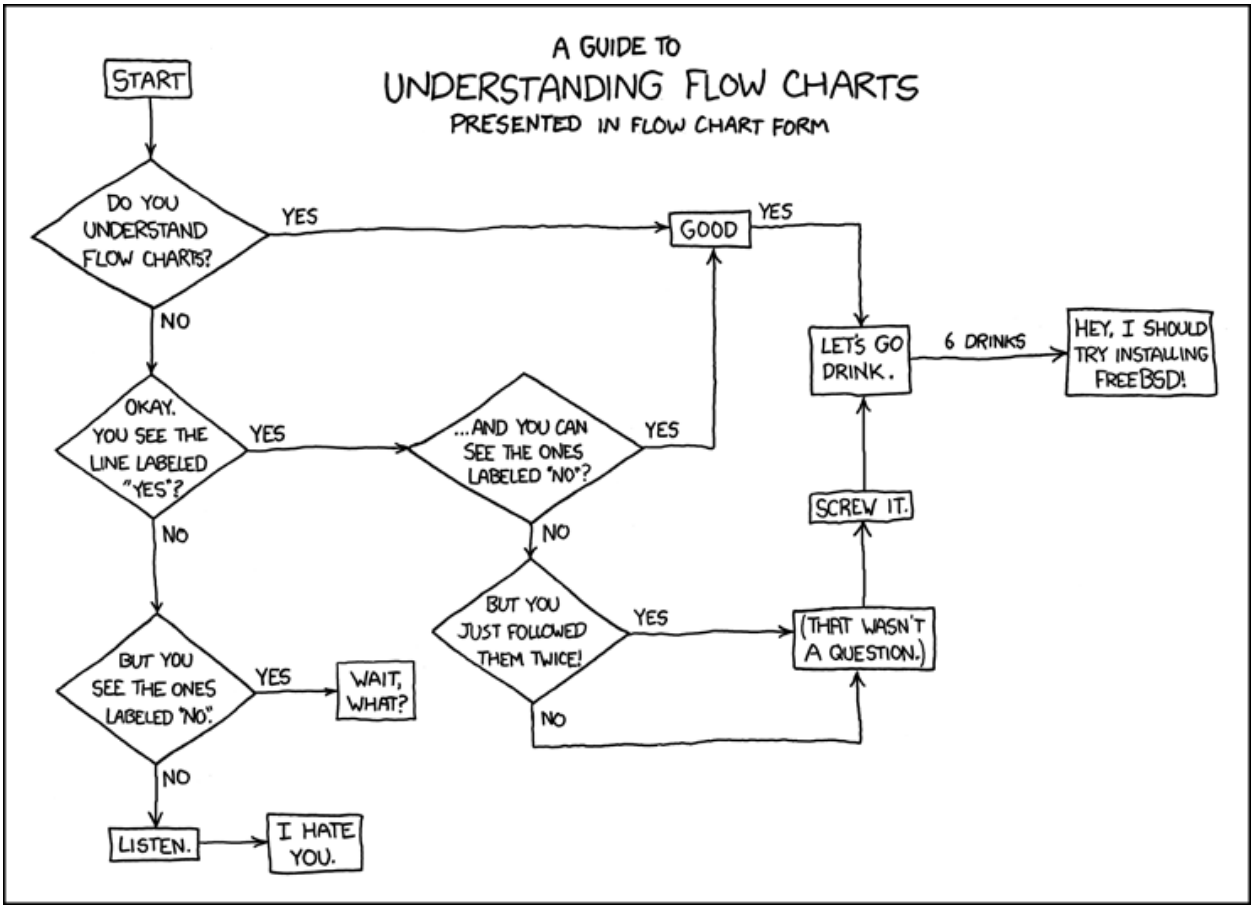
ACTION	BEST	AVERAGE	WORST
ENQUEUE (INSERT)	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
DEQUEUE (REMOVE)	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
PEEK	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
SEARCH/ CONTAIN	$O(1)$	$O(n)$	$O(n)$
MEMORY	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$

အပေါ်မှာ ဖော်ပြခဲ့တဲ့ ဇယားက Linked List ကို အခြေခံထားတဲ့ (Linked List-Based) Queue ပေါ်မှာ ယူဆထားတာပါ။ Array ကို အခြေခံထားတဲ့ (Array-Based) Queue မှာဆိုရင်တော့ $O(n)$ အချိန်ယူပါလိမ့်မယ်။ Linked List သုံးရင်တော့ $O(1)$ ပဲယူမှာပါ။ ဘာကြောင့်လဲဆိုရင် Array ရဲ့ ပထမဆုံး အခန်းကို ဖယ်ရှားရတာက $O(n)$ ကြာမြင့်တဲ့အတွက်ကြောင့်ပါပဲ။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

အခန်း (၇) – Tree များ

ကျွန်တော်တို့ ပတ်ဝန်းကျင်ကို ကြည့်လိုက်မယ်ဆိုရင်၊ ကျွန်တော်တို့ ကိုင်တွယ်နေရတဲ့ ဒေတာအချက်အလက် အများစုဟာ Hierarchical (အဆင့်ဆင့်ရှိတဲ့ ပုံစံမျိုးတွေ) အတိုင်းဖြစ်နေတာကို တွေ့ရပါလိမ့်မယ်။ တနည်းအားဖြင့် မိဘနဲ့ သားသမီးလိုမျိုး အဆင့်အဆင့်ဆက်နွယ်မှုပုံစံကို ဆိုလိုတာပါ။ သာဓကအနေနဲ့ဆိုရင် Family Tree (မိသားစုဇယား) တွေ၊ Organizational Chart (အဖွဲ့အစည်း ဖွဲ့စည်းပုံဇယား) တွေ ၊ Flow Chart / Diagram (လုပ်ငန်းစဉ်အဆင့်ဆင့်ကို ပြတဲ့ ပုံ/ဇယား) တွေ စသည်ဖြင့် တွေ့ရှိရမှာပါ။ (ပုံ ၇-၁ ကိုကြည့်ပါ။)



ပုံ ၇-၁၊ နာမည်ကြီး Webcomic ဆိုက်ဒ်တခုဖြစ်တဲ့ xkcd ရဲ့ နမူနာရုပ်ပြောင် Flow Chart တခုဖြစ်ပါတယ်။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

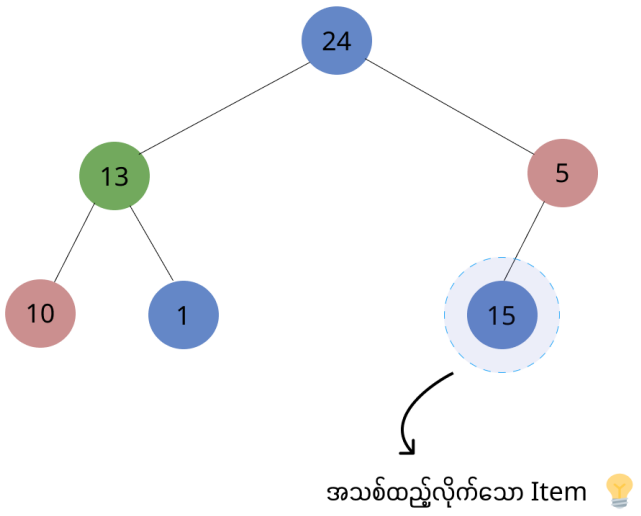
Element တစ်ခု ထည့်သွင်းခြင်း

Heap ထဲကို Element တစ်ခု ထည့်ဖို့ဆိုရင်

- Time complexity: $O(\log n)$ နဲ့
- Space complexity: $O(1)$ ပါ။ - n ဆိုတာ Heap ထဲက Element အရေအတွက်ပါ။

Heap ထဲကို Item တစ်ခု ထည့်ဖို့အတွက် ပထမဆုံးအဆင့်အနေနဲ့ Item အသစ်ကို Heap ရဲ့ အဆုံးမှာ ထည့်ရပါမယ်၊ ပြီးရင် ဒုတိယအဆင့်အနေနဲ့ Heap ရဲ့ တည်ဆောက်ပုံဂုဏ်သတ္တိ ပြန်ရတဲ့အထိ၊ Root Node အသစ်ကို Bubbling Up လုပ်ငန်းစဉ် လုပ်ဆောင်ပေးရပါမယ်။ (နမူနာကုဒ်မှာဆိုရင် #bubbleUp ပါ။)

Item အသစ်ကို Heap ရဲ့ အဆုံးမှာ ထည့်တဲ့ ပထမအဆင့်က Constant Time $O(1)$ ပဲ ကြာပါတယ်။ ဥပမာ၊ နမူနာပုံ (၁၀-၂၇) မှာ Node 15 ကို ထည့်သွင်းတဲ့ပုံစံမျိုးပါ။ ဘာကြောင့်လဲဆိုတော့ ကျွန်တော်တို့ရဲ့ Heap က Array ကို အသုံးပြုပြီး Implement လုပ်ထားတဲ့အတွက်ပါ။ တိတိကျကျပြောရရင် Array ရဲ့ နောက်ဆုံးအခန်းမှာ Item တွေ ထည့်သွင်းတဲ့ လုပ်ငန်းစဉ်က အင်မတန်မြန်ဆန်တဲ့အတွက်ပါ၊ ဒါဟာ Array ရဲ့ အားသာချက်တစ်ခုပါပဲ။



ပုံ ၁၀-၂၇၊ ရှေ့ပိုင်းမှာ ဖော်ပြခဲ့သလို၊ Item တစ်ခုကို ထည့်သွင်းခြင်း

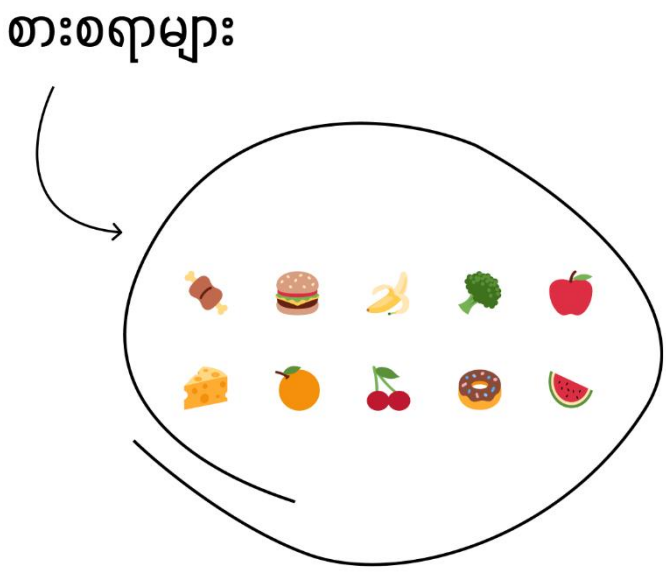
ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

အခန်း (၁၁) - Hashtable (Hashmap သို့မဟုတ် Dictionary)

Data Structure အမျိုးအစားတွေကြားထဲမှာ Hashtable ဟာ မတူကွဲပြားတဲ့ သဘောသဘာဝရှိနေပါတယ်။ ဘာကြောင့်လဲဆိုရင် Hashtable တွေဟာ ဒေတာတန်ဖိုးတွေကို အလျင်မြန်ဆုံး သိမ်းဆည်းနိုင်ပြီး၊ ပြန်လည်ရယူဖို့လည်း အလျင်မြန်ဆုံးလုပ်ဆောင်နိုင်လို့ပါ။ ဒီလို လျင်မြန်မှုတွေကြောင့် Hashtable တွေကို Cache System တွေ ဒါမှမဟုတ် တချို့သော Data Structure တွေနဲ့ Algorithm တွေရဲ့ အခြေခံဖွဲ့စည်းပုံတွေအဖြစ် အသုံးပြုကြတာဖြစ်ပါတယ်။ ဒီအခန်းမှာ Hashtable တွေအကြောင်းနဲ့၊ သူတို့ရဲ့ အလုပ်လုပ်ပုံတွေကို အသေးစိတ် လေ့လာသွားပါမယ်။

နမူနာစက်ရုပ်လေး - Hashtable ကို နားလည်ဖို့ ဥပမာ

Hashtable ဘယ်လိုအလုပ်လုပ်လဲဆိုတာကို ရှင်းပြဖို့အတွက် ဥပမာတစ်ခုကို အသုံးပြုသွားပါမယ်။ ဆိုပါစို့၊ ကျွန်တော်တို့ဟာ မတူညီတဲ့ စားစရာတွေကို သိမ်းဆည်းဖို့ စီစဉ်နေတယ်လို့ စဉ်းစားကြည့်ပါ။ (ပုံ ၁၁-၁ ကိုကြည့်ပါ။)

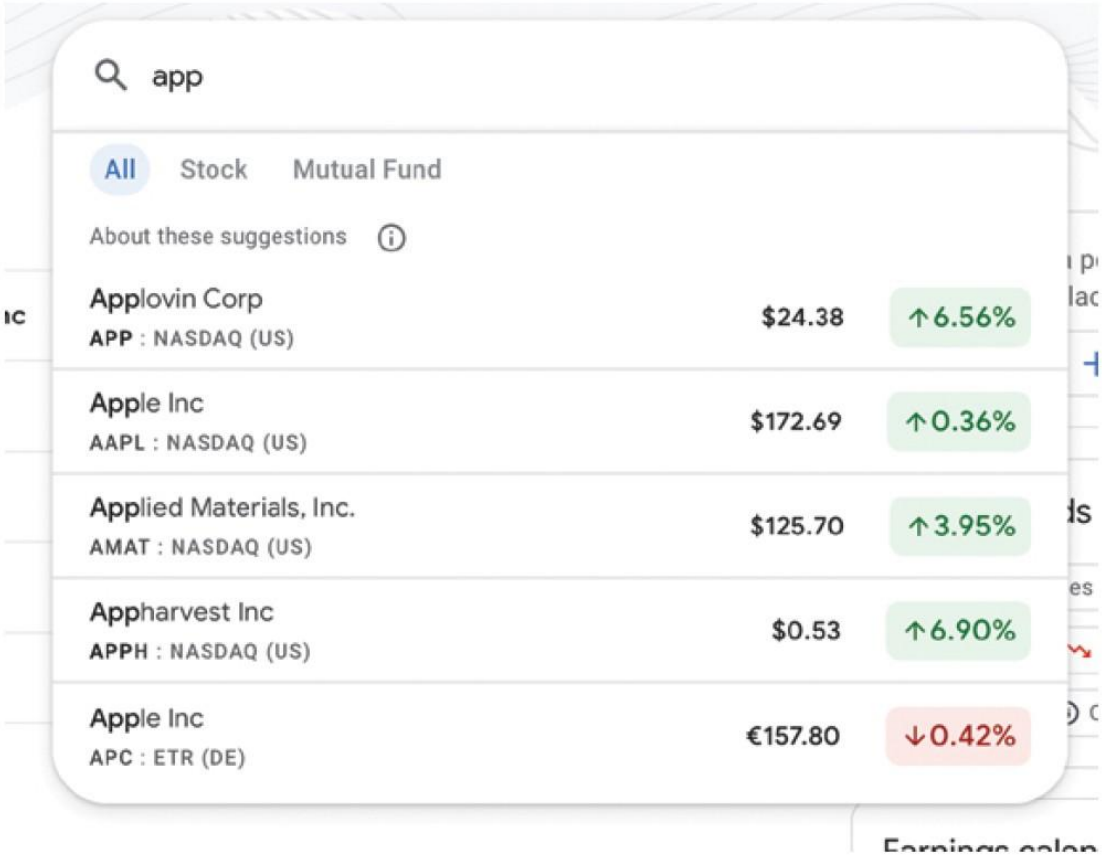


ပုံ ၁၁-၁၊ စားစရာတွေ အကြောင်း ပြောရအောင်ပါ။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

အခန်း (၁၂) - Trie (သို့မဟုတ် Prefix Tree)

ကျွန်တော်တို့ အင်တာနက်စာမျက်နှာတစ်ခုပေါ် ရောက်နေတယ်ဆိုပါစို့။ စာရိုက်ထည့်ရမယ့် နေရာ (Input Field) မှာ စာစရိုက်လိုက်တဲ့အခါ၊ ကျွန်တော်တို့ ရိုက်ထည့်လိုက်တဲ့ စာလုံးအနည်းငယ်ကို အခြေခံပြီး ခန့်မှန်းရလဒ်တွေကို မြင်တွေ့ရတတ်ပါတယ်။ (ပုံ ၁၂-၁ ကိုကြည့်ပါ။)



ပုံ ၁၂-၁၊ Auto Complete နမူနာ

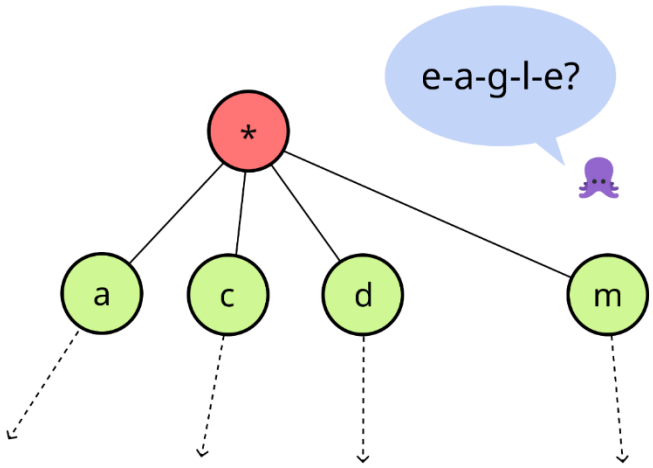
ကျွန်တော်တို့ ဆက်ရိုက်လေလေ၊ ရလဒ်တွေက ပိုပြီးတိကျလာပြီး ကျွန်တော်တို့ ရိုက်ချင်တဲ့ စကားလုံး ဒါမှမဟုတ် စကားစုတစ်ခုလုံးကို တိတိကျကျ ခန့်မှန်းပေးနိုင်တဲ့အထိ ဖြစ်လာပါတယ်။ ဒီလို အလိုအလျောက် ဖြည့်စွက်ပေးတဲ့ (Autocompletion) လုပ်ငန်းစဉ်မျိုးဟာ ဒီနေ့ခေတ်မှာ အထူးအဆန်းမဟုတ်တော့ပါဘူး။ ကျွန်တော်တို့ရဲ့ User Unterface (UI) တွေ အားလုံးနီးပါးမှာ ဒီလိုလုပ်ငန်းစဉ်တွေ ပါဝင်နေပါတယ်။

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

စကားလုံးများ ရှာဖွေခြင်း

အင်္ဂလိပ်အဘိဓာန်ထဲက စကားလုံးအားလုံးကို Trie ထဲ ထည့်ထားတယ်လို့ စဉ်းစားကြည့်ပါ။ အကယ်၍ စကားလုံးတစ်ခုခုကို အဘိဓာန်ထဲ ပါဝင်တဲ့ စကားလုံးဟုတ်မဟုတ် စစ်ဆေးကြည့်မယ်ဆိုရင် ဒီစကားလုံးကို ရှာဖွေဖို့ ကျွန်တော်တို့ရဲ့ Trie ကို ဘယ်လို ထိထိရောက်ရောက် အသုံးချနိုင်မလဲဆိုတာ လေ့လာကြည့်ကြပါမယ်။

ရှေ့မှာဖော်ပြခဲ့တဲ့ နမူနာ Trie ထဲမှာ “eagle” ဆိုတဲ့ စကားလုံးရှိမရှိ ရှာဖွေတယ်ဆိုပါစို့။ ကျွန်တော်တို့ လုပ်ရမှာက စာလုံးတစ်လုံးချင်းစီ (e, a, g, l, e) ခွဲထုတ်လိုက်ပြီး ပထမဆုံးစာလုံးက Root Node ရဲ့ Child အဖြစ် ရှိမရှိ စစ်ဆေးရပါမယ်။ (ပုံ ၁၂-၁၃ ကိုကြည့်ပါ။)



ပုံ ၁၂-၁၃၊ ရှာဖွေမှုတစ်ခု စတင်ခြင်း

ကျွန်တော်တို့မှာ ရှိတဲ့ Root Node ရဲ့ Child တွေက a, c, d, နဲ့ m ပါ။ “e” ဆိုတဲ့ စာလုံး မရှိတဲ့အတွက် ဒီနေရာမှာပဲ ရှာဖွေမှုကို ရပ်လိုက်လို့ရပါတယ်။ ပထမဆုံးစာလုံး မရှိဘူးဆိုရင်၊ နောက်ဆက်တွဲ စာလုံးတွေလည်း သေချာပေါက် ရှိမှာမဟုတ်တဲ့အတွက်ကြောင့်ပါ။

နောက်ထပ် ရှာဖွေမှုတစ်ခုအနေနဲ့ “monk” ဆိုတဲ့ စကားလုံးကို Trie ထဲမှာ ရှိမရှိ စစ်ဆေးပါမယ်။ လုပ်ငန်းစဉ်အဆင့်ဆင့်က အတူတူပါပဲ။ ကျွန်တော်တို့ ရှာနေတဲ့ စကားလုံးရဲ့ ပထမဆုံးစာလုံး “m” က Trie မှာ Root Node ရဲ့ Child အဖြစ် ရှိမရှိ စစ်ဆေးပါတယ်။ ဒီတစ်ခေါက်တော့ ရှိနေပါတယ်။ (ပုံ ၁၂-၁၄ ကိုကြည့်ပါ။)

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

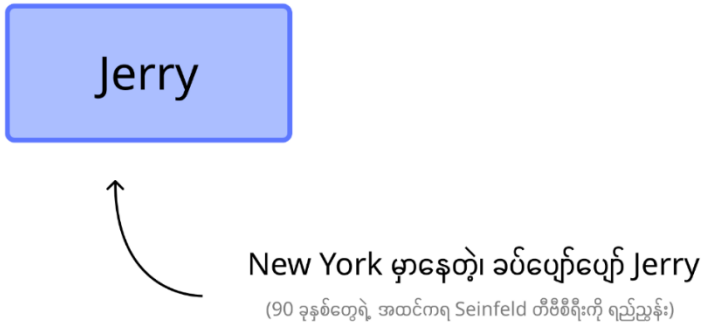
အခန်း (၁၃) – Graph များ

ဒီအခန်းမှာ Graph data structure အကြောင်းကို လေ့လာသွားပါမယ်။ Graph Data Structure ကို အသုံးပြုတဲ့နေရာတွေ အလွန်များသလို၊ သူ့မှာ ကောင်းကျိုးတွေလည်း အများအပြားပါတယ်။ ဒါကြောင့် Graph Theory (ဂရပ်ဖ် သီအိုရီ) လို့ခေါ်တဲ့ သီးခြားဘာသာရပ်တစ်ခုတောင် ရှိနေပါသေးတယ်။ အထူးသဖြင့် ဒီဘာသာရပ်ကို မဟာတန်းတွေ၊ ဂုဏ်ထူးဆောင်တန်းတွေနဲ့ PhD တန်းတွေမှာ သုတေသနလုပ်ဖို့ လေ့လာကြရပါတယ်။ Graph ပေါ်မှာ အခြေခံပြီး ရေးသားထုတ်ဝေထားတဲ့ စာတမ်းတွေ၊ စာအုပ်တွေလည်း အများကြီးရှိပါတယ်။ တချို့ အနုပညာရှင်တွေနဲ့ အဆိုတော်တွေတောင် Graph အကြောင်းကို ရုပ်ရှင်တွေ၊ သီချင်းတွေ ဖန်တီးထားတာမျိုး ရှိကောင်းရှိနေနိုင်ပါတယ်။

ဆိုတော့ ဒီနေရာမှာ ပြောချင်တဲ့ အဓိကအချက်ကတော့ Graph တွေနဲ့ ပတ်သက်ပြီး လေ့လာစရာတွေ အများကြီးရှိတယ်ဆိုတာပါပဲ။ ဒီစာအုပ်ထဲမှာတော့ အကုန်လုံးကိုတော့ လွှမ်းခြုံနိုင်မှာ မဟုတ်ပါဘူး။ ဒါပေမဲ့ Programming လောကမှာ အသုံးများတဲ့ အဓိကအကြောင်းအရာတွေကိုတော့ လွှမ်းခြုံလေ့လာသွားပါမယ်။

Graph ဆိုတာဘာလဲ

Graph တွေဟာ အချက်အလက်တွေကို စုစည်းပြီး စီစဉ်ဖော်ပြဖို့နဲ့၊ တစ်ခုနဲ့တစ်ခု ဘယ်လို ချိတ်ဆက်နေလဲဆိုတာကို နားလည်ဖို့ နည်းလမ်းတစ်ခုပါ။ **ချိတ်ဆက်မှု** ဆိုတဲ့စကားလုံးက အရေးကြီးပါတယ်။ Graph တွေက အချက်အလက်တွေကြားက ဆက်စပ်မှုတွေကို ရှာဖွေပြီး ခွဲခြမ်းစိတ်ဖြာဖို့ ကူညီပေးပါတယ်။ ဥပမာတစ်ခုနဲ့ စကြရအောင်ပါ။ Jerry ဆိုတဲ့ ပျော်ပျော်နေတတ်တဲ့ လူတစ်ဦးရှိတယ် ဆိုပါစို့။ (ပုံ ၁၃-၁)။



ပုံ ၁၃-၁၊ ဂရပ်ဖ်ထဲကို ပထမဆုံးထည့်မယ်အရာ

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

Graph Data Structure အတွက် ကျွန်တော်တို့ရဲ့ Implementation ကို အခုလို ရေးသားပါတယ်။

```
class Graph {
  constructor() {
    this.nodes = new Map();
    this.isDirected = false;
  }

  addNode(node) {
    if (!this.nodes.has(node)) {
      this.nodes.set(node, new Set());
    }
  }

  addEdge(node1, node2) {
    if (!this.nodes.has(node1) || !this.nodes.has(node2)) {
      throw new Error('Nodes do not exist in the graph');
    }
    this.nodes.get(node1).add(node2);
    if (!this.isDirected) {
      this.nodes.get(node2).add(node1);
    }
  }

  removeNode(node) {
    if (this.nodes.has(node)) {
      this.nodes.delete(node);
      for (const [key, adjacentNodes] of this.nodes) {
        adjacentNodes.delete(node);
      }
    }
  }

  removeEdge(node1, node2) {
    if (this.nodes.has(node1) && this.nodes.has(node2)) {
      this.nodes.get(node1).delete(node2);
      if (!this.isDirected) {
        this.nodes.get(node2).delete(node1);
      }
    }
  }

  hasEdge(node1, node2) {
    if (this.nodes.has(node1) && this.nodes.has(node2)) {
```

ဤစာမျက်နှာကို ရည်ရွယ်ချက်ရှိရှိ လွတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ အပြည့်အစုံဖတ်ရှုရန် ဝယ်ယူနိုင်ပါသည်

နိဂုံး

Graph Data Structure ဟာ Computer Science မှာ ရှောင်လွှဲလို့မရတဲ့ အခြေခံသဘောတရားတွေထဲက တစ်ခုပါ။ Graph တွေဟာ အချက်အလက်တွေကြားက ဆက်နွယ်မှုတွေကို ပုံစံချဖို့ အင်မတန် အသုံးဝင်ပါတယ်။ Online Map သုံးပြီး လမ်းကြောင်းရှာတာ၊ Multiplayer Game ကစားတာ၊ Data တွေကို Analyzing လုပ်တာ၊ Internet ပေါ်မှာ ရှာဖွေသွားလာတာ၊ Social Media မှာ သူငယ်ချင်းတွေကို Follow လုပ်တာနဲ့ တခြားလုပ်ငန်းစဉ်သန်းပေါင်းများစွာဟာ Graph Data Structure က ပေးစွမ်းတဲ့ စွမ်းရည်တွေပေါ်မှာ မူတည်နေတာပဲ ဖြစ်ပါတယ်။

ထပ်ပေါင်း အရင်းအမြစ်များ

Kirupa Chinnathambi's Official Website	https://www.kirupa.com/
Kirupa Chinnathambi's Official Forum	https://forum.kirupa.com/
Kirupa Chinnathambi's YouTube Channel	https://www.youtube.com/@kirupa
Code with Thura’s Official Website	https://www.codewiththura.com
Code with Thura’s Telegram Channel	https://t.me/codewiththura

Other Resources in Burmese

Don’t forget to support original author’s work [here].