案例：意见领袖与智能穿戴设备扩散

吴翔

2018-11-04

概述

我们通过案例来阐述如何使用社会网络分析研究健康管理。所有分析过程均通过R语言实现。

本案例源自市场营销中的常用场景：

> 新产品在初期扩散较为缓慢的时候，是否可能借助意见领袖的口碑来促进产品的扩散?

接下来，我们将通过论文导读与R语言实现两个部分了解中心性在市场营销中的具体应用。

问题背景

2012年谷歌眼镜的亮相，被称作“智能穿戴设备元年”。在智能手机的创新空间逐步收窄和市场增量接近饱和的情况下，智能穿戴设备作为智能终端产业下一个热点已被市场广泛认同。

智能穿戴设备可以用作：

- 慢性病管理
- 生活与运动习惯监测

而今智能手环、智能手表等产品已经非常丰富，然而大多数产品的销售状况并不理想。在市场营销中，为了促进新产品的扩散，企业可能采用“product seeding program”，亦即：

> 选取意见领袖作为“种子客户”，免费向其提供新产品，以期这些“种子客户”能够通过口碑效应，促进新产品的扩散。

然而，社会网络中的哪些客户是“意见领袖”呢?

我们求诸节点中心性。

研究思路

对于任意行动者i，购买智能穿戴设备的决策受到两个途径的影响：

- 大众传播：例如广告等途径，其特点是具有全局效果（可以近似认为广告覆盖了所有目标人群）
- 口碑传播：通过个体之间传播，其特点是具有局部效果（每个人只受其家人朋友的影响）

因此，如果第$t-1$期末行动者i尚未购买智能穿戴设备，那么他在第i期购买智能穿戴设备的概率是：

$$\text{prob}_{it} = 1 - (1-p) \times (1-q)^{m_{it}},$$

其中：

- p：创新系数，用以刻画大众传播
- q：模仿系数，用以刻画口碑传播
- m_{it}：在第$t-1$期末，与行动者i直接相连的行动者中，已经购买了智能穿戴设备的数量

如果行动者i在第t期购买了智能穿戴设备，则记作$y_{it}=1$；否则，记作记作$y_{it}=0$。所以，每期的销售量为：

$$\text{sales}_t=\sum_i y_{it}.$$

进一步，考虑到货币的时间价值，可以通过折现率r来计算企业通过销售智能穿戴设备获得的收益净现值：

$$\text{npv}=\sum_t \frac{\text{sales}_t}{(1+r)^t}.$$

正常产品扩散情形

我们首先搭建仿真模型，以模拟该新型智能穿戴设备在投放市场之后的扩散过程。

创建并初始化社会网络

```
rm(list = ls())
suppressMessages(library(igraph))
suppressMessages(library(ggplot2))
suppressMessages(library(dplyr))
suppressMessages(library(tidyr))
set.seed(123)

# create a graph
n <- 5000
g <- random.graph.game(n = n, p = 0.002)

# set parameters
setattr <- function(g, seeds = NULL) {
    # set vertex attributes
    V(g)$adopted <- 0
    if (length(seeds) > 0) {
      # seeds
      V(g)$adopted[seeds] <- 1
    }
    # set graph attributes
    graph_attr(g, "adopters") <- list(sum(V(g)$adopted))
    # return the graph
    return(g)
}
```

新产品扩散机制

智能穿戴设备的扩散过程中：

- 行动者之间是相互沟通和影响的
- 影响模式由以上公式刻画

```r
iteration <- function(g, p = 0.1, q = 0.01) {
    # Number of vertices
    N <- vcount(g)
    # find non-adopters
    non_adopters <- as.vector(V(g)[V(g)$adopted == 0])
    # get the adjacency matrix
    adjacencymat <- as_adjacency_matrix(g, sparse = TRUE)
    # extract relevant adjacency matrix
    na_adjacency <- adjacencymat[non_adopters, , drop = FALSE]
    # remove the large matrix object
    rm(adjacencymat)
    # initialize the number of adopters
    nums_adopted <- unlist(g$adopters)
    # initialize the number of periods in which continuous zero adopttion occurs
    num_test <- 0
    # iterate over all none-adopted vertices
    while (length(non_adopters) != 0 && num_test < 10) {
        # adopted judge
        # number of i's acquaintances who have adopted the good by time t
        mit <- as.vector(na_adjacency %*% V(g)$adopted)
        pit <- 1 - (1 - p) * (1 - q) ^ mit
        flag <- runif(length(non_adopters)) < pit
        # update the adopted status
        flagid <- non_adopters[which(flag == TRUE)]
        if (length(flagid)) {
            V(g)[flagid]$adopted <- TRUE
        }
        # update the non-adopters id
        nonflagid <- which(flag == FALSE)
        non_adopters <- non_adopters[flag == FALSE]
        # update the relevant adjacency matrix
        na_adjacency <- na_adjacency[nonflagid, , drop = FALSE]
        # update the number of new adopters
        nums_adopted <- c(nums_adopted, sum(flag))
        # update the number of periods in which continuous zero adopttion occurs
        if (sum(flag) == 0) {
            num_test <- num_test + 1
        }else {
            num_test <- 0
        }
    }
    # store as a graph attribute
    graph_attr(g, "adopters") <- list(nums_adopted)
    # return the graph
    return(g)
}
```

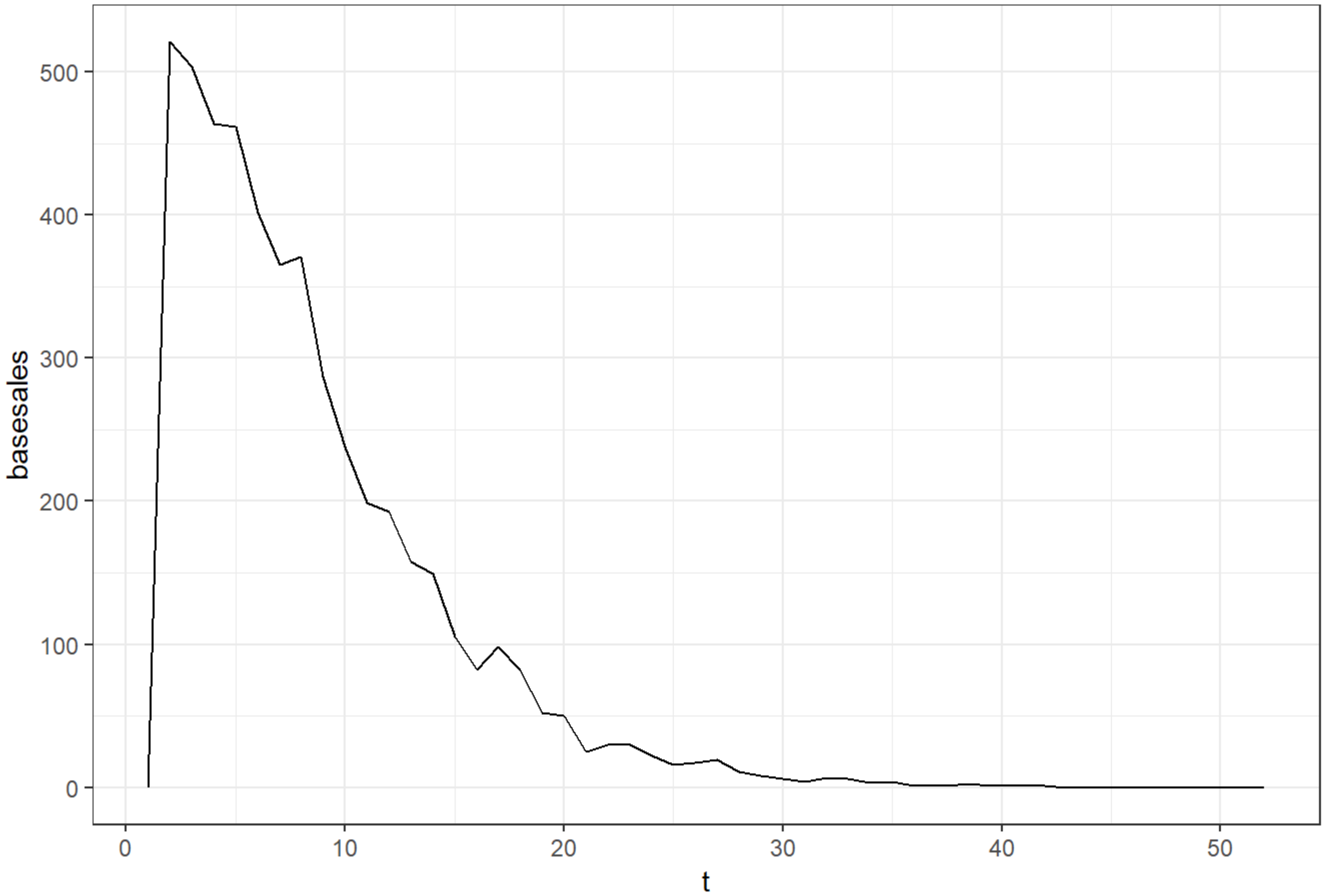
根据新产品扩散过程，我们可以计算对应的净现值（net present value, NPV）。

```r
# create a function to calculate the NPV
npv <- function(sales, discount.rate = 0.05) {
  # calculate npv
  npv <- sum(sales / (1 + discount.rate) ^ (1:length(sales)))
  return(npv)
}
```

新产品销售量

我们根据以上仿真模型，计算该智能穿戴设备的销售量。

```
# base model
# set attributes
g.base <- setattr(g)
# diffusion process
g.base <- iteration(g.base)
# obtain the sales
sales.base <- graph_attr(g.base, "adopters")[[1]]
sales.base <- data.frame(t = 1:length(sales.base), basesales = sales.base)
# plot the sales
ggplot(sales.base, aes(x = t, y = basesales)) + geom_line() + labs(caption = "Sales over periods for t
he new wearable device") + theme_bw()
```



Sales over periods for the new wearable device

同时可以看到，总销售量为4999。

净现值

考虑到货币的时间价值（2017年的1000元比2018年的1000元人民币更值钱：通货膨胀），我们计算销售额的净现值。

```
# print the results
npv.base <- npv(sales.base$basesales)
npvvec <- data.frame(npv.base = npv.base)
npvvec
```

```
##   npv.base
## 1     3443
```

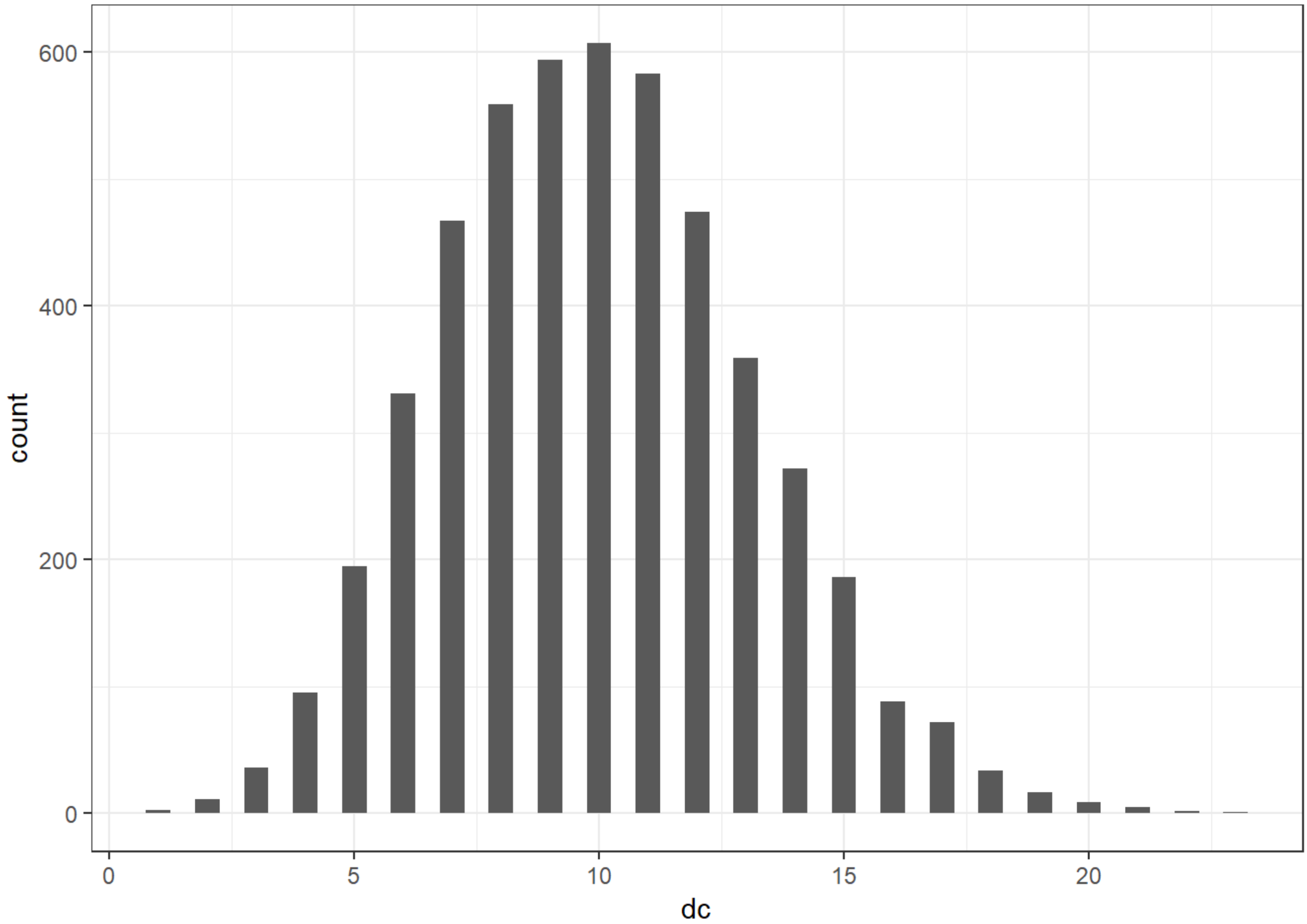
营销策略及结果

我们依次考虑四种营销策略。

度中心性

首先，我们计算节点的度中心性，并绘制度中心性的分布图。

```
# calculate degree centrality
dc <- degree(g)
# distribution of dc
data.frame(dc = dc) %>% ggplot(aes(x = dc)) + geom_histogram(binwidth = 0.5) + theme_bw()
```



进而，我们选取10个度中心性最大的行动者（即消费者）作为“种子客户”，免费向其提供智能穿戴产品。

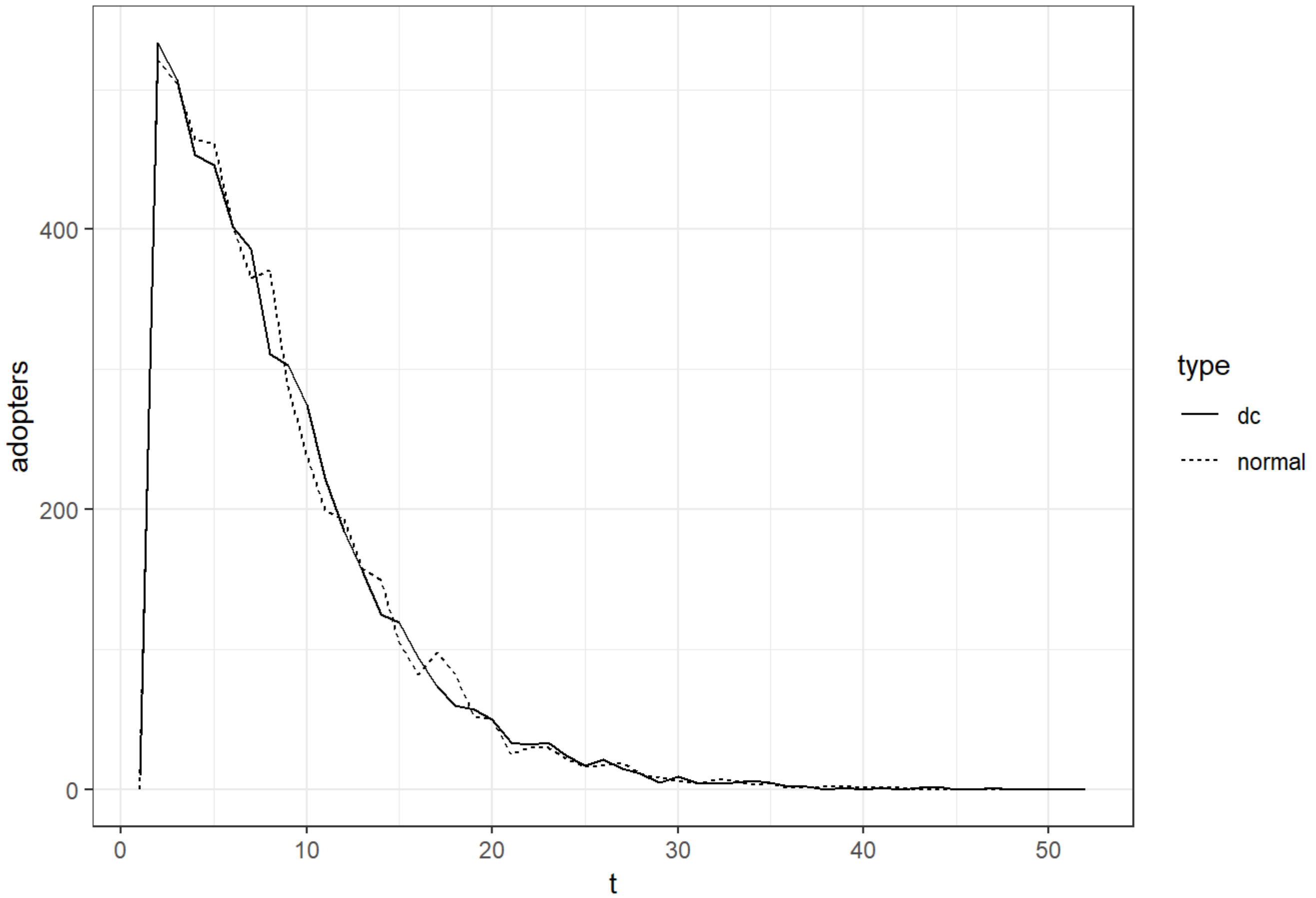
```
# select 2/1000 actors as seeds
seedsize <- n * 0.002
seeds.dc <- order(dc, decreasing = T)[1:seedsize]
# print the dc of these seeds
dc[seeds.dc]
```

```
##  [1] 23 22 22 21 21 21 21 21 20 20
```

可以看到，以上“种子客户”的度（未归一化）都大约在20左右。

```
# set attributes
g.dc <- setattr(g, seeds = seeds.dc)
# diffusion process
g.dc <- iteration(g.dc)
# obtain the sales
sales.dc <- graph_attr(g.dc, "adopters")[[1]]

# create a data frame
t <- 1:max(length(sales.base$basesales), length(sales.dc))
# adding zeros
addzeros <- function(x, tmax) {
  if (length(x) < tmax) {
    # adding zeros
    x <- c(x, rep(0, tmax - length(x)))
  }
  # return
  return(x)
}
# apply for two vectors
illust.dat <- data.frame(t, normal = addzeros(sales.base$basesales, length(t)), dc = addzeros(sales.d
c, length(t)))
illust.dat <- gather(illust.dat, "type", "adopters", 2:3)
# plot the results
ggplot(illust.dat, aes(x = t, y = adopters, linetype = type)) + geom_line() + labs(caption = "Sales ov
er periods for the new wearable device") + theme_bw()
```



Sales over periods for the new wearable device

可以看到，总销售量为5000。

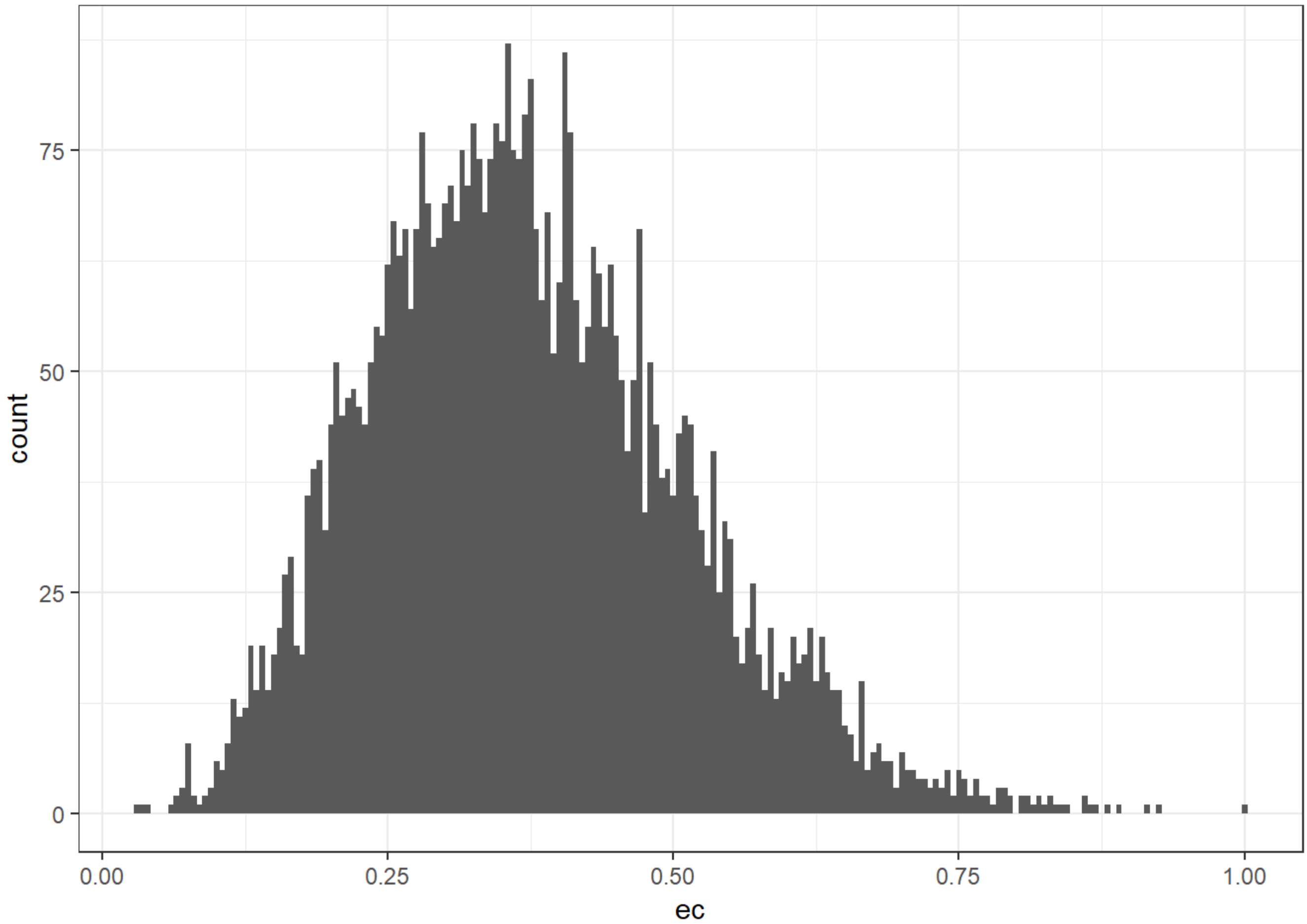
```
# calculate and compare NPV
npv.dc <- npv(sales.dc)
npvvec <- cbind(npvvec, npv.dc)
npvvec
```

```
##   npv.base npv.dc
## 1     3443   3446
```

特征向量中心性

首先，我们计算节点的特征向量中心性，并绘制特征向量中心性的分布图。

```
# calculate eigenvector centrality
ec <- eigen_centrality(g, scale = T)$vector
# distribution of ec
data.frame(ec = ec) %>% ggplot(aes(x = ec)) + geom_histogram(binwidth = 5e-3) + theme_bw()
```



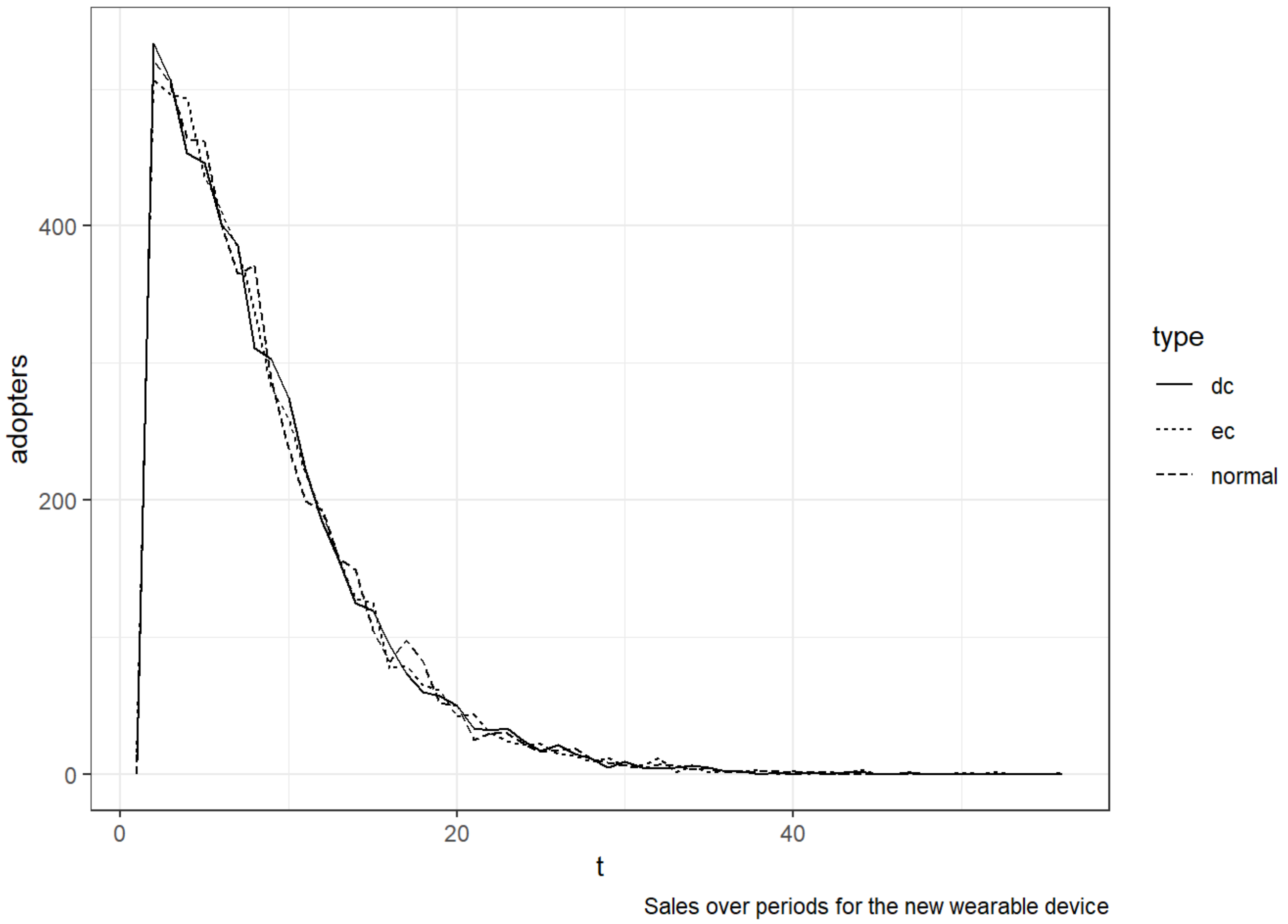
进而，我们选取10个特征向量中心性最大的行动者（即消费者）作为“种子客户”，免费向其提供智能穿戴产品。

```
# select 2/1000 actors as seeds
seeds.ec <- order(ec, decreasing = T)[1:seedsize]
# print the cc of these seeds
ec[seeds.ec]
```

```
##  [1] 1.000 0.926 0.915 0.889 0.878 0.872 0.866 0.862 0.861 0.845
```

```
# set attributes
g.ec <- setattr(g, seeds = seeds.ec)
# diffusion process
g.ec <- iteration(g.ec)
# obtain the sales
sales.ec <- graph_attr(g.ec, "adopters")[[1]]

# create a data frame
t <- 1:max(length(sales.base$basesales), length(sales.dc), length(sales.ec))
# adding zeros
addzeros <- function(x, tmax) {
  if (length(x) < tmax) {
    # adding zeros
    x <- c(x, rep(0, tmax - length(x)))
  }
  # return
  return(x)
}
# apply for two vectors
illust.dat <- data.frame(t,
                         normal = addzeros(sales.base$basesales, length(t)),
                         dc = addzeros(sales.dc, length(t)),
                         ec = addzeros(sales.ec, length(t)))
illust.dat <- gather(illust.dat, "type", "adopters", 2:4)
# plot the results
ggplot(illust.dat, aes(x = t, y = adopters, linetype = type)) + geom_line() + labs(caption = "Sales over periods for the new wearable device") + theme_bw()
```



可以看到，总销售量为5000。

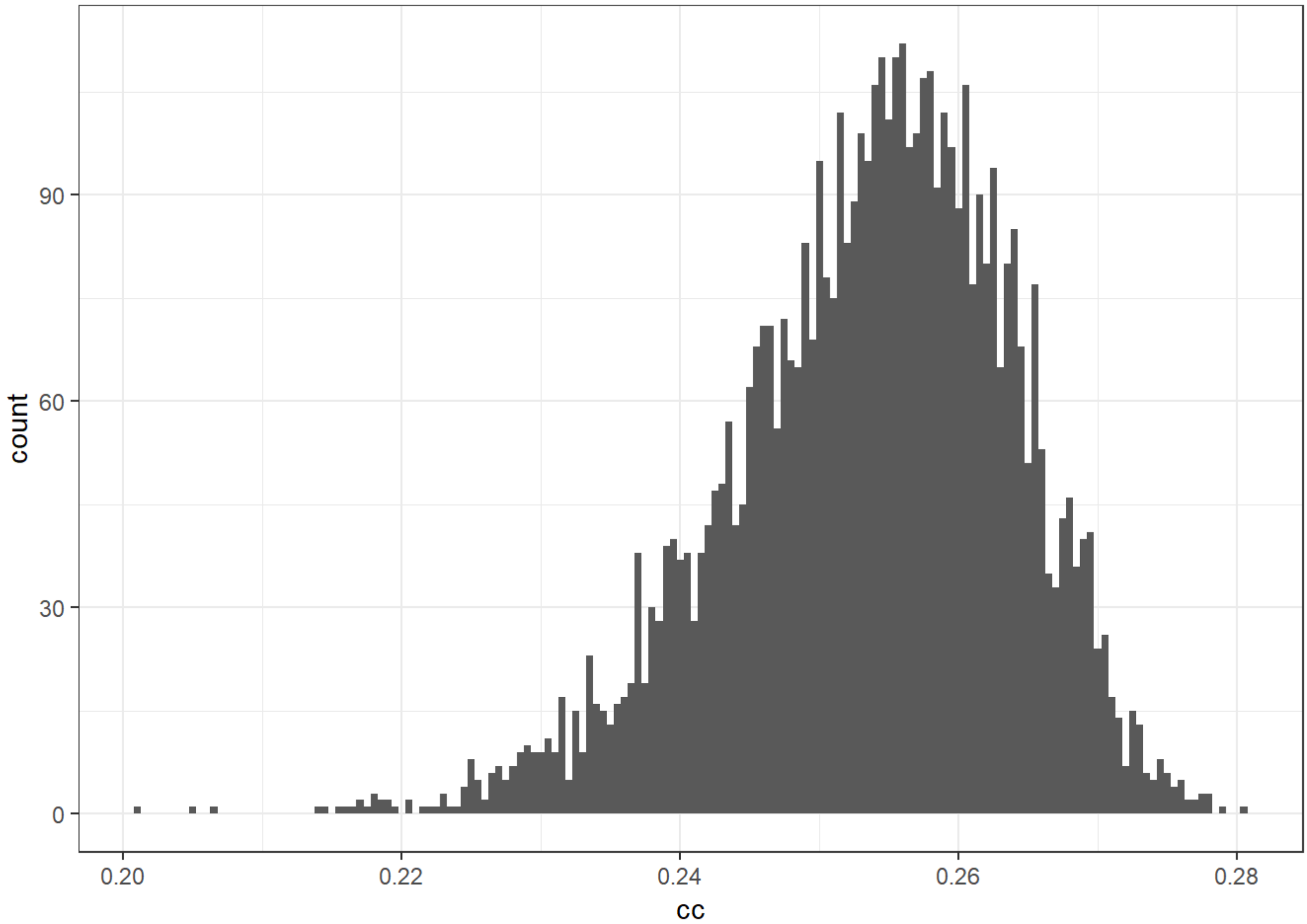
```
# calculate and compare NPV
npv.ec <- npv(sales.ec)
npvvec <- cbind(npvvec, npv.ec)
npvvec
```

```
##   npv.base npv.dc npv.ec
## 1     3443   3446   3442
```

接近中心性

首先，我们计算节点的接近中心性，并绘制接近中心性的分布图。

```
# calculate closeness centrality
cc <- closeness(g, normalized = T)
# distribution of cc
data.frame(cc = cc) %>% ggplot(aes(x = cc)) + geom_histogram(binwidth = 5e-4) + theme_bw()
```



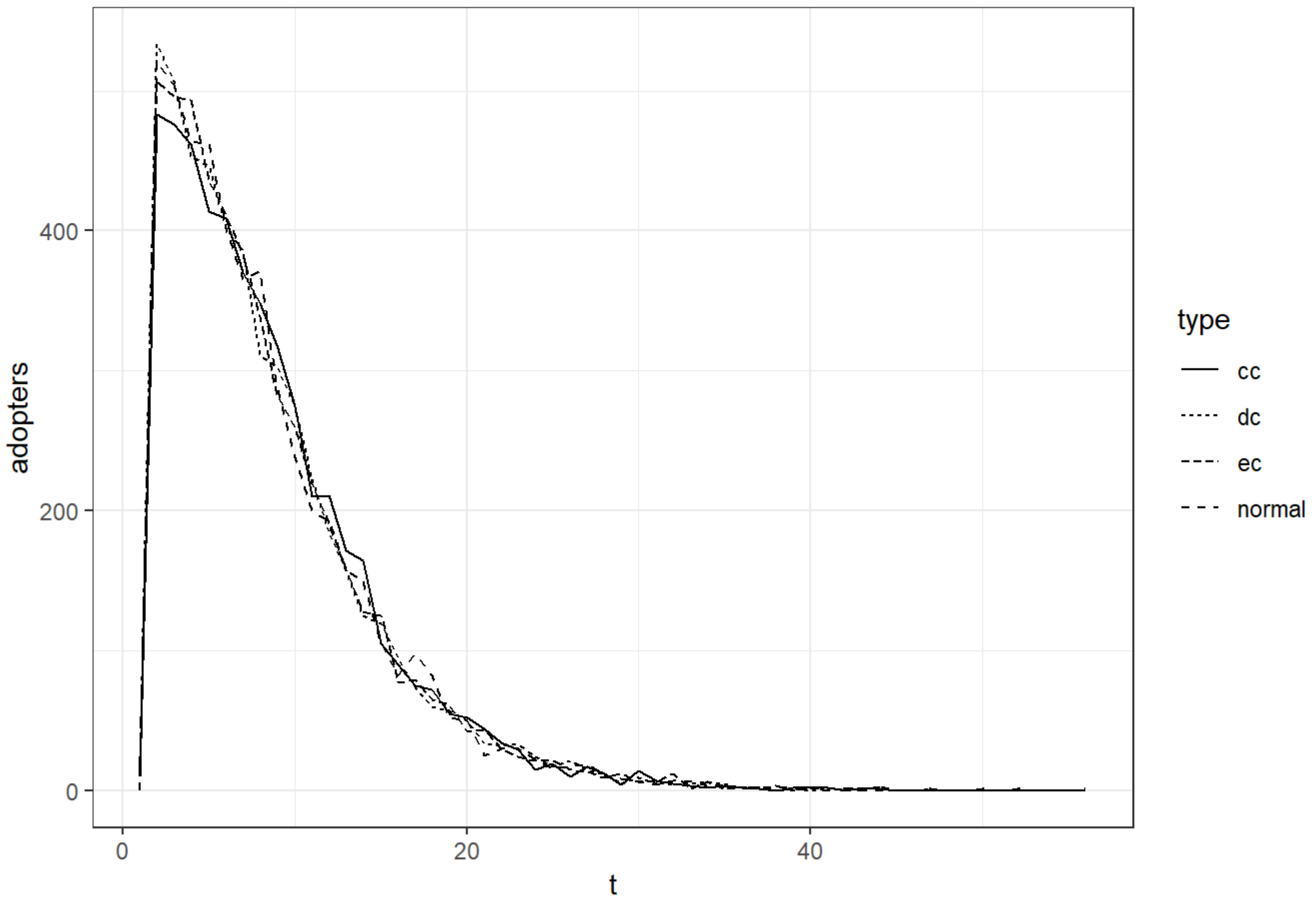
进而，我们选取10个接近中心性最大的行动者（即消费者）作为“种子客户”，免费向其提供智能穿戴产品。

```
# select 2/1000 actors as seeds
seeds.cc <- order(cc, decreasing = T)[1:seedsize]
# print the cc of these seeds
cc[seeds.cc]
```

```
##  [1] 0.280 0.279 0.278 0.278 0.278 0.278 0.277 0.277 0.277 0.277
```

```
# set attributes
g.cc <- setattr(g, seeds = seeds.cc)
# diffusion process
g.cc <- iteration(g.cc)
# obtain the sales
sales.cc <- graph_attr(g.cc, "adopters")[[1]]

# create a data frame
t <- 1:max(length(sales.base$basesales), length(sales.dc), length(sales.ec), length(sales.cc))
# adding zeros
addzeros <- function(x, tmax) {
  if (length(x) < tmax) {
    # adding zeros
    x <- c(x, rep(0, tmax - length(x)))
  }
  # return
  return(x)
}
# apply for two vectors
illust.dat <- data.frame(t,
                         normal = addzeros(sales.base$basesales, length(t)),
                         dc = addzeros(sales.dc, length(t)),
                         ec = addzeros(sales.ec, length(t)),
                         cc = addzeros(sales.cc, length(t)))
illust.dat <- gather(illust.dat, "type", "adopters", 2:5)
# plot the results
ggplot(illust.dat, aes(x = t, y = adopters, linetype = type)) + geom_line() + labs(caption = "Sales ov
er periods for the new wearable device") + theme_bw()
```



Sales over periods for the new wearable device

可以看到，总销售量为4999。

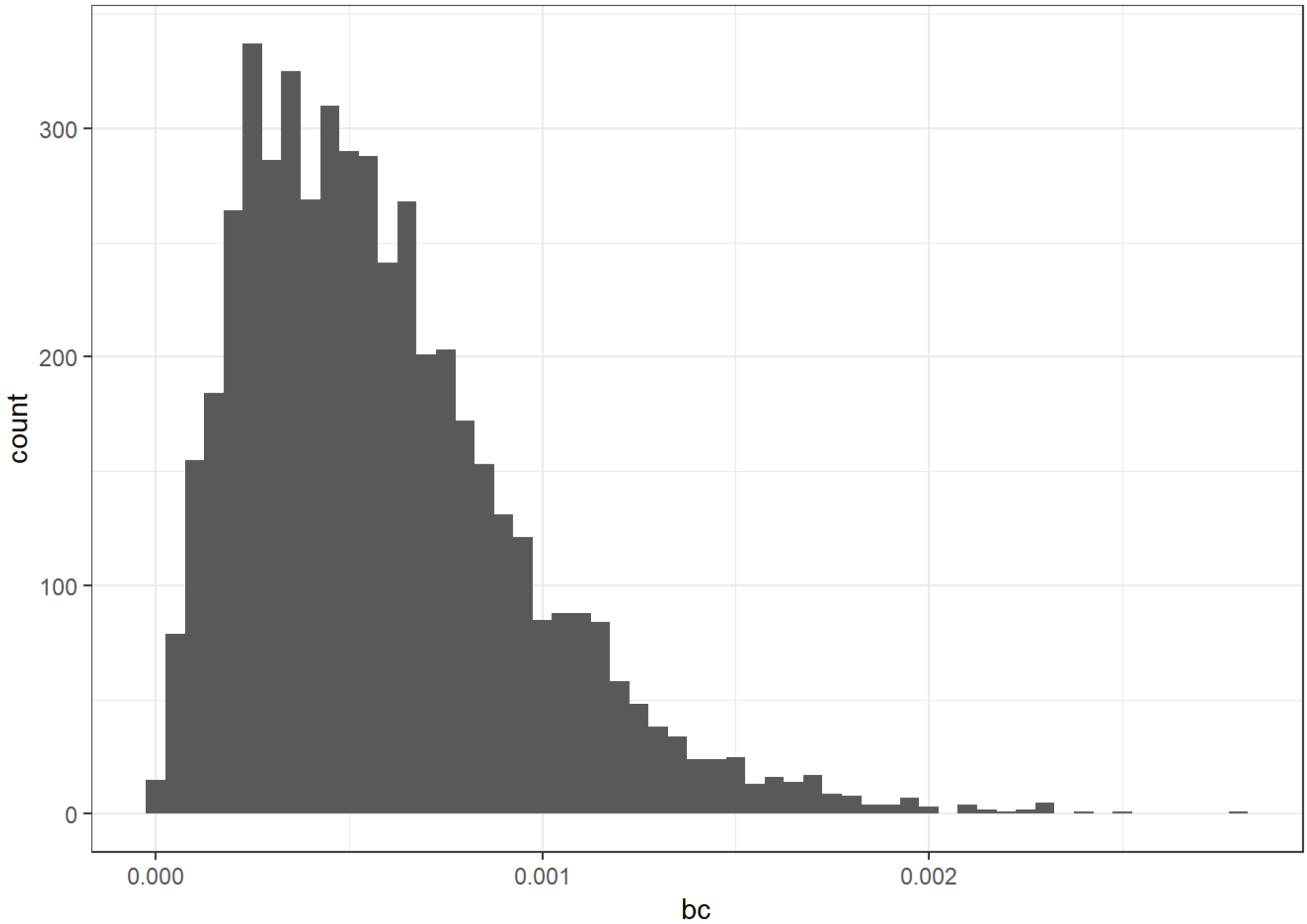
```
# calculate and compare NPV
npv.cc <- npv(sales.cc)
npvvec <- cbind(npvvec, npv.cc)
npvvec
```

```
##   npv.base npv.dc npv.ec npv.cc
## 1     3443   3446   3442   3417
```

中介中心性

首先，我们计算节点的中介中心性，并绘制中介中心性的分布图。

```
# calculate betweenness centrality
bc <- betweenness(g, normalized = T)
# distribution of bc
data.frame(bc = bc) %>% ggplot(aes(x = bc)) + geom_histogram(binwidth = 5e-5) + theme_bw()
```



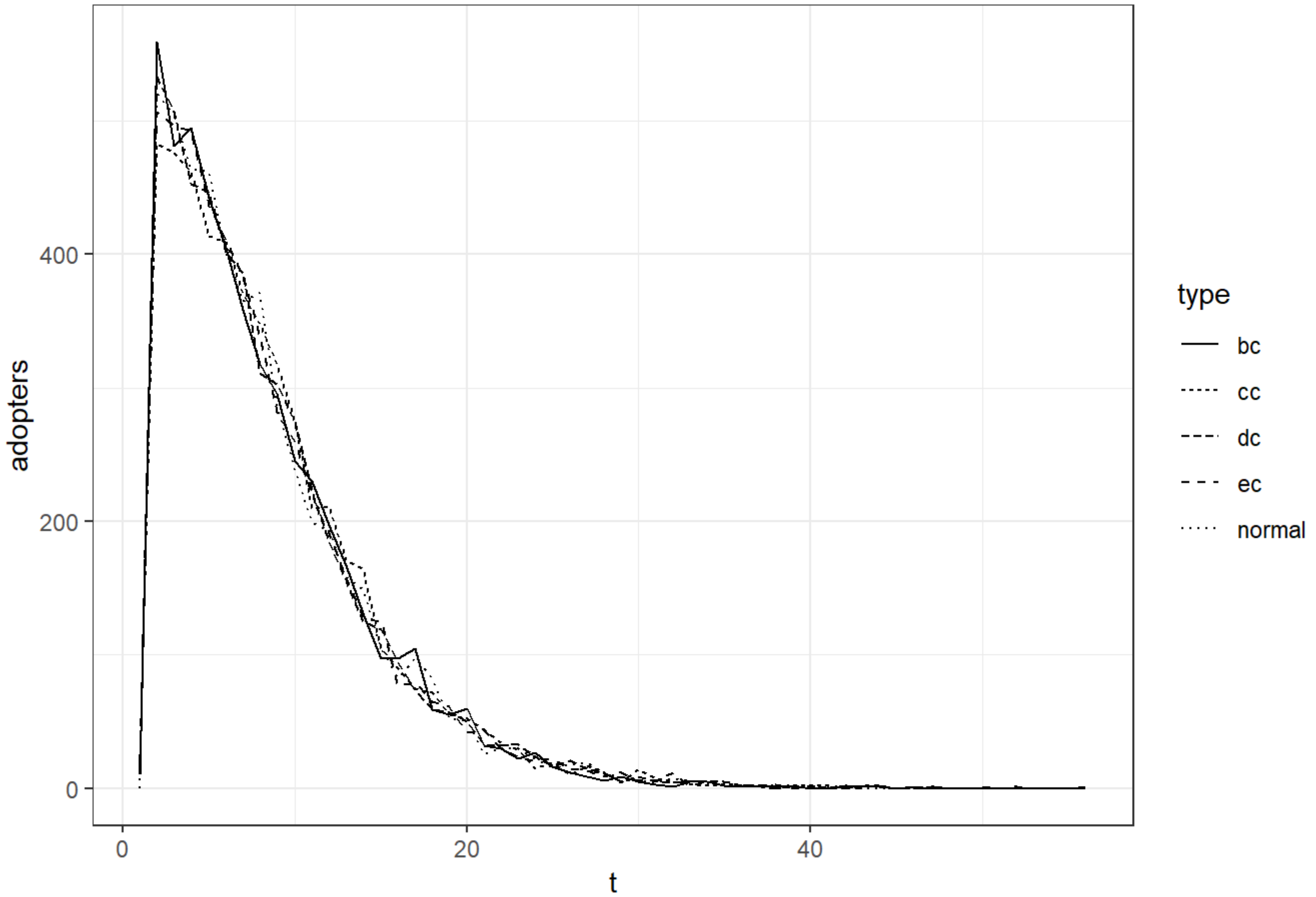
进而，我们选取10个中介中心性最大的行动者（即消费者）作为“种子客户”，免费向其提供智能穿戴产品。

```
# select 2/1000 actors as seeds
seeds.bc <- order(bc, decreasing = T)[1:seedsize]
# print the bc of these seeds
bc[seeds.bc]
```

```
##  [1] 0.00279 0.00250 0.00242 0.00231 0.00231 0.00230 0.00229 0.00229
##  [9] 0.00227 0.00224
```

```r
# set attributes
g.bc <- setattr(g, seeds = seeds.bc)
# diffusion process
g.bc <- iteration(g.bc)
# obtain the sales
sales.bc <- graph_attr(g.bc, "adopters")[[1]]

# create a data frame
t <- 1:max(length(sales.base$basesales), length(sales.dc), length(sales.ec), length(sales.cc), length
(sales.bc))
# adding zeros
addzeros <- function(x, tmax) {
  if (length(x) < tmax) {
    # adding zeros
    x <- c(x, rep(0, tmax - length(x)))
  }
  # return
  return(x)
}
# apply for two vectors
illust.dat <- data.frame(t,
                         normal = addzeros(sales.base$basesales, length(t)),
                         dc = addzeros(sales.dc, length(t)),
                         ec = addzeros(sales.ec, length(t)),
                         cc = addzeros(sales.cc, length(t)),
                         bc = addzeros(sales.bc, length(t)))
illust.dat <- gather(illust.dat, "type", "adopters", 2:6)
# plot the results
ggplot(illust.dat, aes(x = t, y = adopters, linetype = type)) + geom_line() + labs(caption = "Sales ov
er periods for the new wearable device") + theme_bw()
```



Sales over periods for the new wearable device

可以看到，总销售量为5000。

最后，我们可以比较四种策略下的销售额净现值。

```
# calculate and compare NPV
npv.bc <- npv(sales.bc)
npvvec <- cbind(npvvec, npv.bc)
npvvec
```

```
##   npv.base npv.dc npv.ec npv.cc npv.bc
## 1     3443   3446   3442   3417   3460
```